

A2) A villamosenergia-átalakítás általános elvei és törvényei

4. A villamos gépekkel kapcsolatos általános feladatok.

Transzformátorok.

Önálló vizsgálati probléma, mert a transzformátor villamos energiát alakít át villamos energiává.

Elektromechanikai átalakítók.

A fő kérdés: a forgó mozgás létrehozása.

2.1. Forgó mozgás létesítése lehetséges:

mechanikai forgatással;

álló tekercsrendszerrel.

2.2. A működési elv megvalósításához tartozó gépi konstrukció lényeges (alap) elemeinek megismerése.

3. Kérdés: Mi történik, ha a felépítés és/vagy a táplálás szándékosan vagy valamilyen hiba miatt aszimmetrikus?

Erre a kérdésre a villamos gépek aszimmetrikus üzemviszonyainak vizsgálata ad választ.

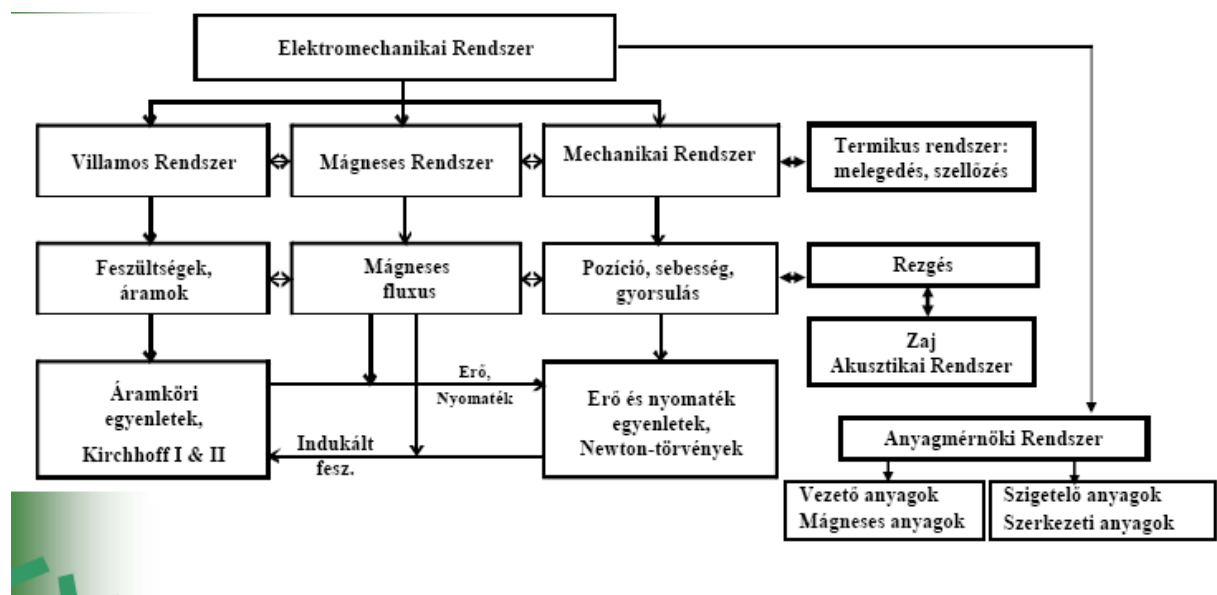
Szándékos aszimmetriára példa a háztartásokban széleskörűen alkalmazott egyfázisú villamos forgógép.

4. Kérdés: Mi történik a táplálás/terhelés változásakor?

Erre a kérdésre a villamos gépek tranziens (villamos változás) és dinamikus (mechanikai változás) üzemviszonyainak vizsgálata ad választ.

B) Tranziens állapot—ezzel nem fogunk foglalkozni.

5. Az elektromechanikai rendszerek felépítése.

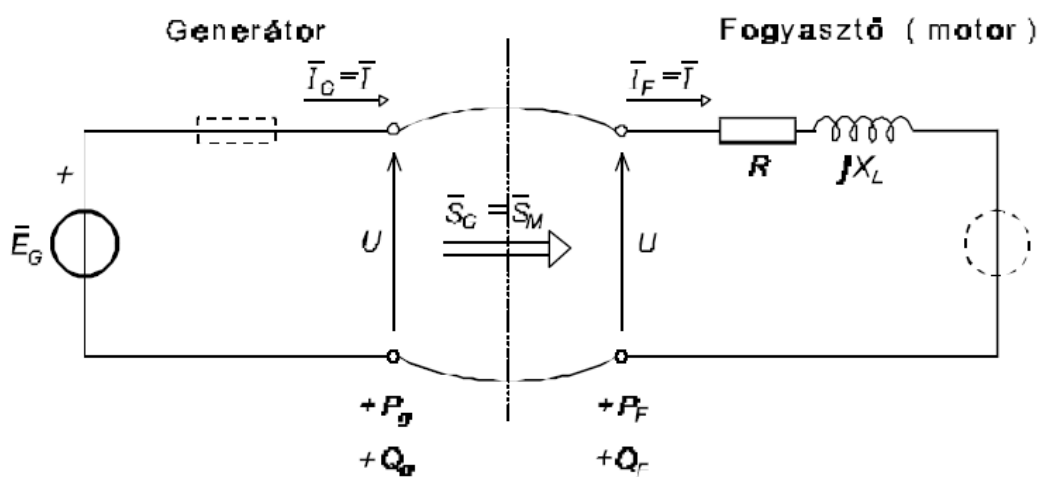


C) Gyakorlati áramkör-számítási technikák és konvenciók: egy- és háromfázisú hálózatok számítása

4 Generátoros és fogyasztói teljesítmény előjelek értelmezése.

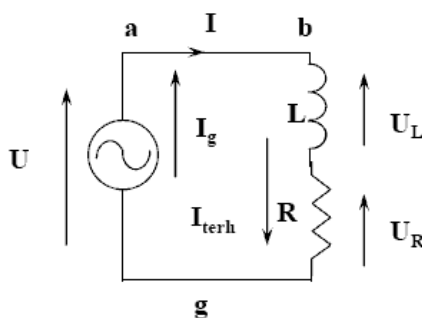
Generátoros		Fogyasztói	
Hatásos	Meddő	Hatásos	Meddő
+P szolgáltatás (betáplálás)	+Q szolgáltatás (kapacitív)	+P fogyasztás	+Q nyelés (induktív)
-P fogyasztás (vételezés)	-Q nyelés (induktív)	-P termelés (visszatáplálás)	-Q visszatáplálás (kapacitív)

1.9 ábra^



- A generátor árama a pozitív félperiódusban a „g”-től az „a”-ba folyik.
- A terhelés árama és feszültsége (referencia irány szerint) ellentétes irányú: a feszültség- és negatív.

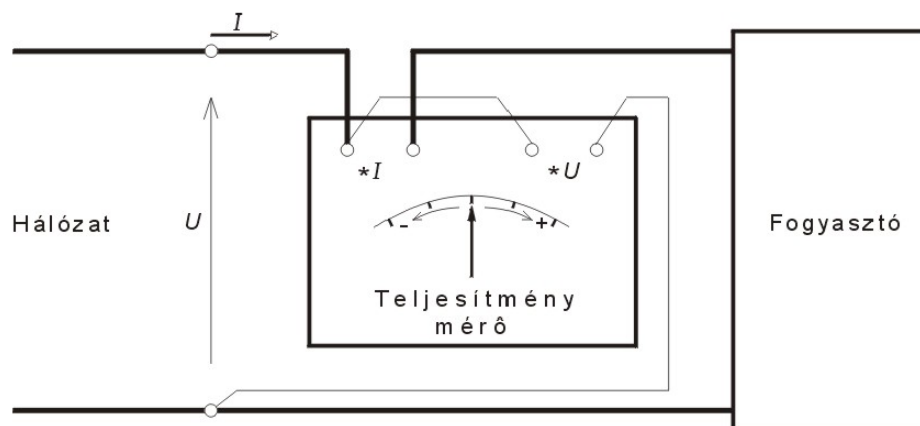
- A generátor feszültsége és árama azonos irányú.
- A terhelés árama a pozitív félperiódusban „b”-től „g”-be folyik .



Megállapítható, hogy a tipikus, azaz ohmos és induktív jellegű (motoros) fogyasztó által felvett hatásos és meddő teljesítmény is pozitív. Hasonlóképpen a tipikus fogyasztót tápláló generátornak is pozitív mind a hatásos, mind pedig a meddő teljesítménye a generátoros pozitív irányrendszerben. A generátoros és fogyasztói pozitív irányrendszert együtt szemlélteti az 1-9. ábra.

Az áram pozitív iránya mindkét elemnél megegyezik a feltételezett teljesítményáramlás (generátornál kifelé, fogyasztónál befelé) irányával. A két esetben az áram és a feszültség egymáshoz képesti relatív helyzete különböző.

Teljesítménymérő bekötése fogyasztói poz irányrendszer szerint



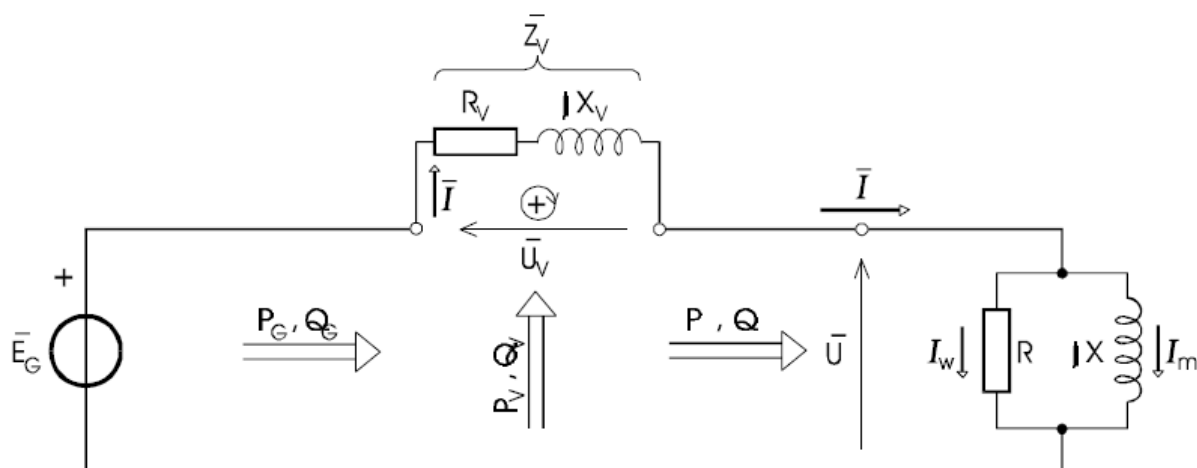
10.ábra

Azt, hogy a teljesítmény értelmezéséhez használt irányrendszer nem csak az összefüggések felírásához használatos valamiféle fikció jól érzékelteti az, hogy enélkül nem lehetséges a teljesítmény mérő bekötése olyan módon, hogy annak kitérése (polaritása) és a teljesítmény áramlás iránya közötti kapcsolat egyértelműen megoldható legyen. A teljesítmény mérőt [W-mérőt vagy var- mérőt (Volt-Amper-reaktív)] úgy kell bekötni, hogy a feltételezett teljesítmény áramlás irányába mutató áram az áramkapocs-pár jelölt kapcsánál lépjen be a mérőbe, a nagyobb potenciálúnak feltételezett (fázis) vezető pedig a feszültség kapocspár jelölt pontjához csatlakozzék. A teljesítmény mérőnek a fogyasztói pozitív irányrendszer szerinti bekötését az 1-10. ábra szemlélteti.

Ennek megfelelően bekötött mérő pozitív irányú (polaritású) mérése W-mérő esetén határos teljesítmény felvételt (fogyasztást), var-mérő esetén pedig induktív meddő teljesítmény felvételt (meddő nyelést) jelent. A negatív polaritás - értelemszerűen - teljesítmény visszatáplálást, illetve kapacitív meddő felvételt (induktív meddő szolgáltatást) jelent.

Generátor, távvezeték és fogyasztó rendszer áramai és teljesítménye.





áramköri helyettesítés

1.11 abra

A villamosenergia-rendszer alapesetére vonatkozó teljesítmény-viszonyokat az 1-11. ábra alapján érzékeltetjük. A generátor mint $\bar{E}_G$ ideális feszültségforrás a vezeték R_V és X_V reaktanciáján fellépő néhány százalékos feszültségesést követően a fogyasztónál névleges körüli $\bar{U}$ feszültséget biztosít.

A fogyasztásnak a hatásos teljesítményét leképező R ellenállásán és meddő teljesítményét leképező X reaktanciáján az $\bar{U}$ feszültség hatására I_w wattos és I_m meddő áram jön létre:

$$I_w = \frac{\bar{U}}{R}; \quad I_m = \frac{\bar{U}}{jX} = -j \frac{\bar{U}}{X}$$

A fogyasztó teljesítménye:

$$\bar{S} = P + jQ = \bar{U}\bar{I}^* = \bar{U} \left(\frac{\bar{U}^*}{R} + j \frac{\bar{U}^*}{X} \right) = \frac{\bar{U}\bar{U}^*}{R} + j \frac{\bar{U}\bar{U}^*}{X} = \frac{U^2}{R} + j \frac{U^2}{X}$$

Tehát a fogyasztó feszültségkényszer alatt álló R ellenállásán és X reaktanciáján fellépő hatásos és meddő teljesítmény:

$$P = \frac{U^2}{R} \quad \text{és} \quad Q = \frac{U^2}{X} \quad (1-11)$$

A reaktancia és ezzel a meddő teljesítmény előjele is pozitív induktív jellegű fogyasztó esetén és negatív kapacitív jellegű fogyasztó esetén.

A vezeték soros impedanciáján a fogyasztó $\bar{I}$ árama hatására létrejövő

– feszültségesés:

$$\bar{U}_v = (R_v + jX_v)\bar{I}$$

– teljesítmény veszteség:

$$\bar{S} = P_v + jQ_v = \bar{U}_v \bar{I}^* = (R_v + jX_v)\bar{I}\bar{I}^* = R_v I^2 + jX_v I^2$$

Tehát a vezeték áramkényszer alatt álló soros R_v ellenállásán és X_v reaktanciáján fellépő hatásos és meddő veszteség:

$$P_v = R_v I^2 \quad \text{és} \quad Q_v = X_v I^2 \quad (1-12)$$

Megjegyzendő, hogy az (1-12) összefüggés szerinti teljesítményeket a fogyasztói pozitív irányrendszer szerint kell értelmezni, mivel $\bar{U}$ és $\bar{I}$ ennek felel meg (1-11b ábra). Ezért az általában induktív jellegű, pozitív előjelű vezeték reaktancia induktív meddő teljesítményt fogyaszt.

A generátor által szolgáltatott

$$\bar{S}_G = P_G + jQ_G = \bar{E}_G \bar{I}^*$$

teljesítmény és a fogyasztó, valamint a veszteség teljesítmények között az alábbi kapcsolatok írhatók fel:

$$P_G = P + P_v \quad \text{és} \quad Q_G = Q + Q_v$$

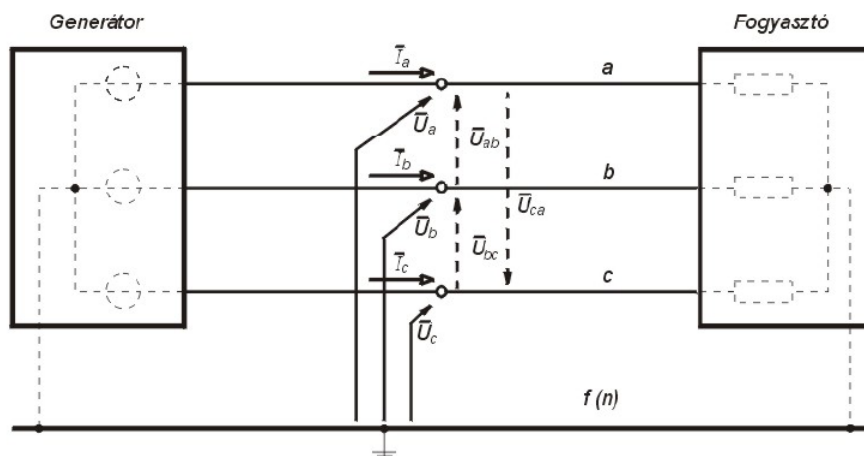
Egy energiarendszernek mind a hatásos, mind pedig meddő teljesítményére általában kimondható, hogy a fogyasztói- és veszteség teljesítmények összege egyenlő a generátoros teljesítmények összegével. Ez a megállapítás természetesen az 1-1. táblázat szerinti előjeles teljesítményekre vonatkozik.

5 Szimmetrikus háromfázisú rendszer jellemzése, áram- és feszültségviszonyai; vonali és fázismennyiségek, csillag és delta kapcsolás.

A villamos energia termelése, átvitele, elosztása és felhasználása szinte kizárólag váltakozó áramú, háromfázisú rendszerben történik. Ez alól csak a nagytávolságú, nagyfeszültségű, egyenáramú átvitel és a kisteljesítményű egyedi fogyasztók képeznek kivételt. Különleges, nem háromfázisú nagy fogyasztót jelentenek a váltakozó áramú villamos nagyvasutak is.

A háromfázisú rendszer mellett szól mindenekelőtt az, hogy a térben 120 fokos irányokban elhelyezkedő, három tekercsből álló viszonylag egyszerű rendszerben - forgó mágneses mező hatására létrehozható az időben 120 fokkal eltolt háromfázisú elektromotoros-erő rendszer (szinkron generátor) - az időben 120 fokkal eltolt fázisáramok forgó mágneses mezőt eredményeznek, ami az egyszerű (aszinkron) motor alapja.

A háromfázisú rendszer előnyei teljes mértékben akkor jelentkeznek, ha a rendszer szimmetrikus. Ilyen előny az átvitelnél pl. az, hogy nem kell visszavezetés (negyedik ún. nullavezető), illetve ha van visszavezető (földelt csillagpontú rendszereknél ennek tekinthető a föld is), abban nem folyik áram és ezért veszteség sem keletkezik. További előny az időben (pillanatértékben is) állandó teljesítmény (lásd alábbi b) pontot). A fenti előnyök kihasználására arra törekednek, hogy maga az energiarendszer és annak terhelése is gyakorlatilag szimmetrikus legyen.



a, feszültségek és áramok

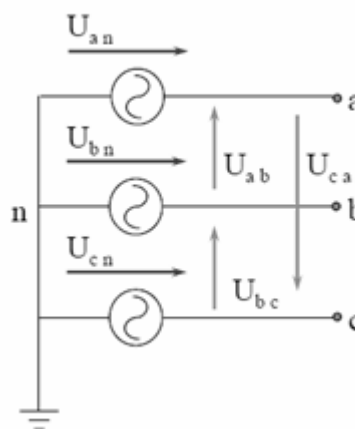
Csillag- vagy Y-kapcsolású rendszer

- A csillagpont földelt
- A fázisfeszültségek abszolút (effektív) értékei egyenlők.
- A feszültségek között fázisszög azonos: 120-120 fok.

$$U_{an} = |U| \angle 0^\circ = U$$

$$U_{bn} = |U| \angle -120^\circ = |U| e^{-j 120 \text{ deg}}$$

$$U_{cn} = |U| \angle -240^\circ = |U| e^{-j 240 \text{ deg}}$$



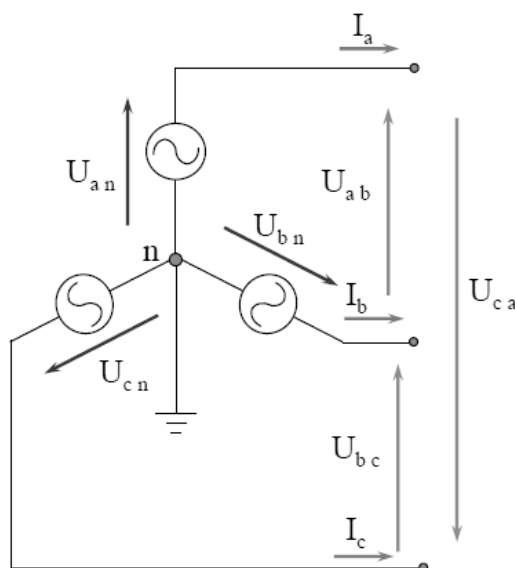
Csillag (Y) kapcsolású rendszerek

- A vonali feszültségek a fázisfeszültségek (fázorainak) különbségei

$$U_{ab} = U_{an} - U_{bn} = \sqrt{3} U e^{j 30 \text{ deg}}$$

$$U_{bc} = U_{bn} - U_{cn} = \sqrt{3} U e^{-j 90 \text{ deg}}$$

$$U_{ca} = U_{cn} - U_{an} = \sqrt{3} U e^{j 150 \text{ deg}}$$



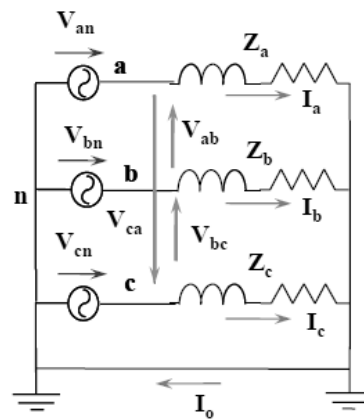
Csillagkapcsolású rendszer terheléssel

- A terhelés impedanciái: Z_a, Z_b, Z_c
- Minden fázisfeszültség a megfelelő impedancián áramot hajt át.
- A fázisáramok kifejezései:

$$I_a = \frac{U_{an}}{Z_a} \quad \text{és} \quad I_b = \frac{U_{bn}}{Z_b} \quad \text{és} \quad I_c = \frac{U_{cn}}{Z_c}$$

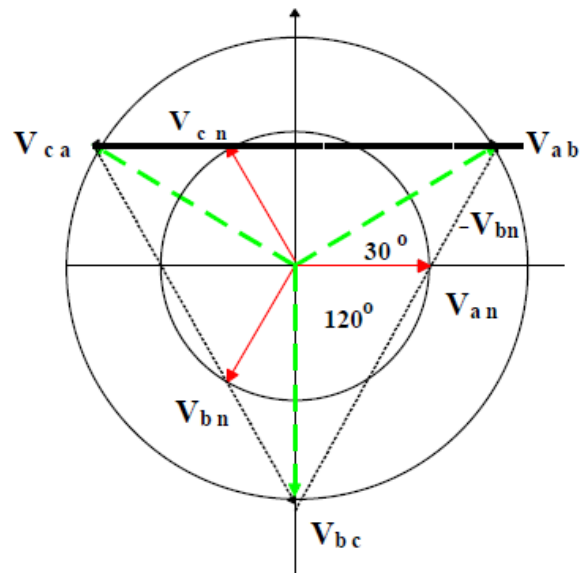
- A negyedik (nulla)vezető ([föld]visszavezetési) árama

$$I_0 = I_a + I_b + I_c$$

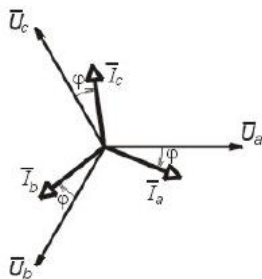


Csillag (Y) kapcsolású rendszer

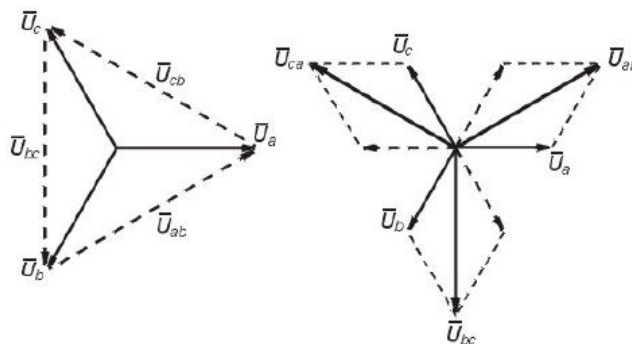
- Fázorábrát használunk a feszültségek megjelenítésére és számítására
- Az Y-kapcsolásban megjelennek a
 - **fázis- és a**
 - **vonali feszültségek.**
- A fázisfeszültségek egymáshoz képest 120-120 fokkal vannak eltolva.
- Hasonlóképpen a vonali feszültségek is egymáshoz képest 120-120 fokkal vannak eltolva.
- A vonali feszültsége 30 fokkal siet a fázisfeszültséghez képest.
- A vonali feszültség nagysága (effektív értéke) $\sqrt{3}$ -szorosa a fázisfeszültségnek.



Delta (háromszög) kapcsolású fogyasztó



c, áram és fázis feszültség fázorok



d, fázis és vonali feszültség fázorok

Delta- vagy háromszög kapcsolású rendszer

A vonali áramok:

$$I_a = I_{ab} - I_{ca}$$

$$I_b = I_{bc} - I_{ab}$$

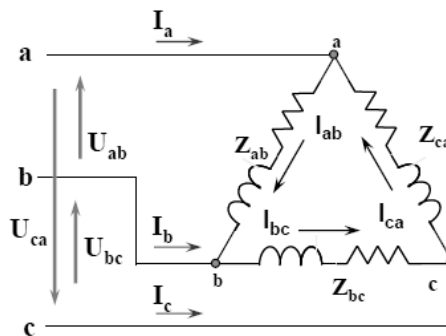
$$I_c = I_{ca} - I_{bc}$$

- Kiegyenlített esetben:

$$I_a = \sqrt{3} I_{ab} e^{-j30^\circ}$$

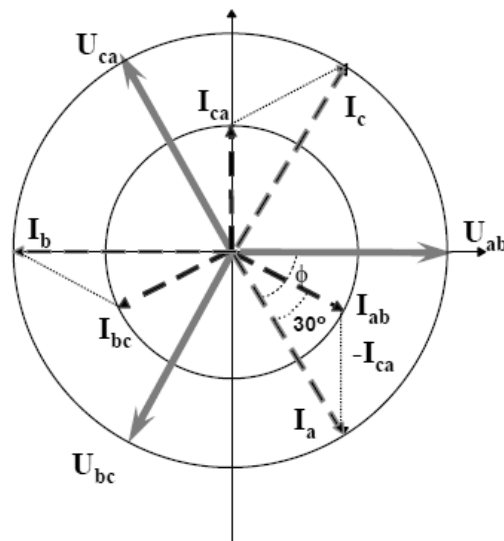
vagy

$$I_{\text{vonali}} = \sqrt{3} I_{\text{fázis}} e^{-j30^\circ}$$



Delta-kapcsolású rendszer

- Fázorábrát használunk az áramok és feszültségek megjelenítésére és számítására.
- Egyféle feszültségünk van: a vonali (a fázisfeszültség ezzel megegyezik).
- Kétféle áramunk van:
 - Fázisáram és
 - Vonali áram
- A vonali feszültségek közötti fázisszög 120-120 fok.
- A fázisáramok 30 fokkal sietnek a vonali áramok előtt.
- A vonali áramok nagysága (effektív értéke) $\sqrt{3}$ -szorosa a fázisáramoknak.



D1) A háromfázisú vektorok módszere

- Definíció. Fizikai bevezetés. Háromfázisú tekercselés térvektora. Térvektor szerkesztése háromfázisú szimmetrikus állapotban. Követelmények a fázismennyiségek időbeli változására vonatkozóan.**

Definíció

Az eredő háromfázisú áramvektor definíciószerűen:

$$i = i_{\text{valós}} + j i_{\text{képzetes}} = \frac{2}{3} \left[i_a + \left(-\frac{1}{2} + j \frac{\sqrt{3}}{2} \right) i_b + \left(-\frac{1}{2} - j \frac{\sqrt{3}}{2} \right) i_c \right]$$

Az i_b ill. i_c áramok szorzói a , ill. a^2 (lásd ábra), és így a háromfázisú áramvektor definíciós egyenlete:

$$i = \frac{2}{3} (i_a + a i_b + a^2 i_c)$$

Követelmények a fázismennyiségek időbeli változására vonatkozóan.

A definíció ebben az eredeti fogalmazásban tiszta matematikai műveletet, koordináta transzformációt jelent.

A villamos forgógépekben azonban a háromfázisú vektoroknak szemléletes fizikai értelmezést is tulajdoníthatunk, ami gépeink belső viszonyainak kitűnő áttekintésére és pl. gép-áramirányító rendszer egyedülálló vizsgálatára, valamint más sajátos előnyökre vezet, amelyek következtében a módszer világszerte kezd elterjedni.

Fizikai bevezetés.

A gerjesztési görbe felrajzolásakor látjuk, hogy a légrés mentén az egyre távoluló görbék által körülfogott áramok összege a gerjesztés.

Az ábrán a kerület mentén folytonosan és szinuszosan eloszlóna képzelt áramok - áramréteg - esetében a gerjesztési görbe is térbeli szinusz alakú görbe.

Ezt a térbeli gerjesztéseloszlást a pozitív maximum helyén rajzolt a maximummal arányos nagyságú θ gerjesztési térvektorral jellemezhetjük. Mivel a kerület menti szinuszos árameloszlás legnagyobb értéke és a gerjesztés csak egy állandó tényezővel, a hatásos menetszámmal tér el egymástól,

az árameloszlást is jellemezhetjük egy-egy pillanatban egy, a maximális áramérték helye helyett a maximális gerjesztés helyén rajzolt i áramtérvektorral.

A mező is arányos θ -val, így a b indukció jellemzése hasonlóan történhet

Háromfázisú tekercselés térvektora.

Egy fázistekercs áramának tetszőlegesen kiragadott pillanatértékéhez tehát a tekercs tengelyének irányában elhelyezkedő rögzített helyzetű, a pillanatérték nagyságával és előjelével megszabott hosszúságú és értelmű áram fázis-térvektor tartozik.

Az egyes fázistekercsek tengelyeit a 0 , 120° , ill. 240° térbeli szöggel elforgatott egységvektorok, tehát 1 , a és a^2 jelölik ki.

Tetszőleges kiragadott pillanatban a három fázistekercs áramainak össze tartozó pillanatértékeihez tartozó áram fázis-térvektorait a tekercsek tengelyeiben, tehát az 1 , a , a^2 irányokban - értelemre helyesen - felrajzolva és vektorosan összegezve a háromfázisú tekercselés térvektorát nyerjük.

Így a háromfázisú eredőáram

$$1i_a + ai_b + a^2i_c$$

az a háromfázisú eredőgerjesztés az

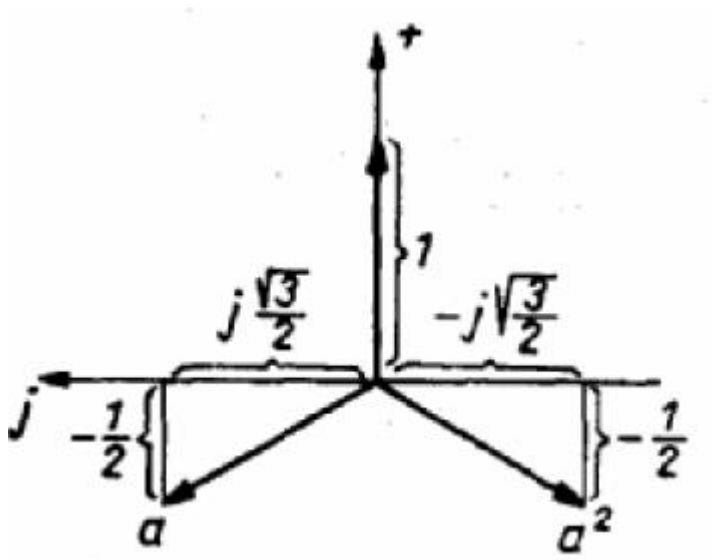
$$1\mathcal{G}_a + a\mathcal{G}_b + a^2\mathcal{G}_c$$

kifejezéssel írható le.

Az összegzést a következő ábrán látjuk. Az eredő áramtérvektort - alább látható okokból célszerűen nem a három fázisvektor összegével hanem annak $2/3$ részével jellemezzük

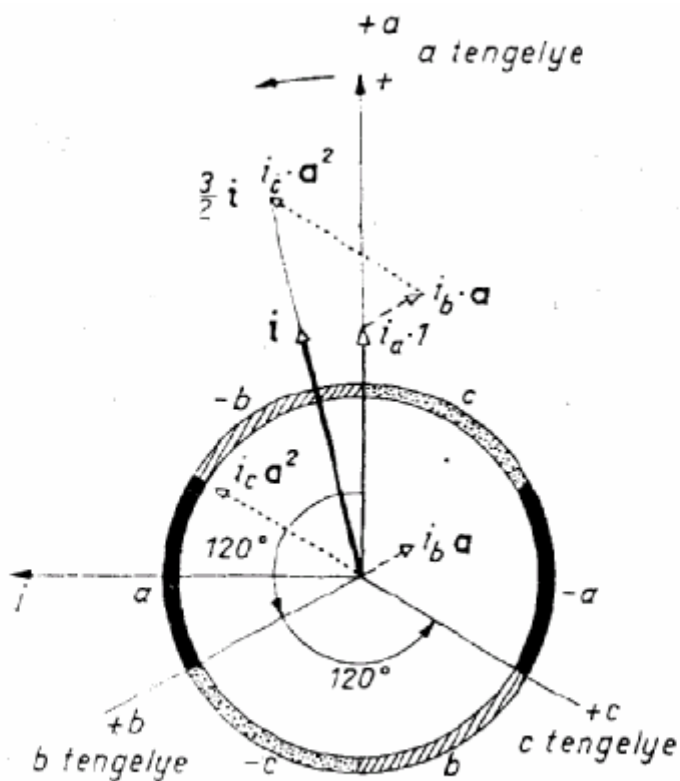
$$i = \frac{2}{3}(i_a + ai_b + a^2i_c)$$

Ez az áram háromfázisú vektora, Park-vektora vagy térvektora. A három fázisáramot egyetlen mennyiségben összefoglalva jellemeztük.



Háromfázisú vektor=Térvektor (villamos gépek elméletében)=Park vektor= Ráczi vektor

Térvektor szerkesztése háromfázisú szimmetrikus állapotban.



3. ábra: A szimmetrikus állandósult állapot háromfázisú vektorának szerkesztése

A szimmetrikus állandósult állapotban az eredő vektor állandó nagyságú, így végpontja kört ír le és szögsebessége is állandó.

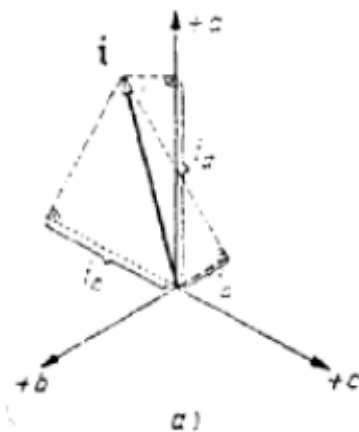
Definíciójakor - mind a matematikai, mind a fizikai bevezetésekor - csak a tekercsek térbeli szimmetriáját és a térbeli, gyakorlatilag szinuszos eloszlást kötöttük ki - valamint egyelőre a zérus sorrendű áram hiányát -, de az egyes fázisáramok időbeli változására semminemű kikötést nem tettünk.

Azok tehát tetszőleges időbeli változásúak lehetnek, így szinuszosak, periodikusak felharmonikusokkal, tranziensek, sőt lehetnek egyenáramok vagy bármilyen más időbeli lefolyásúak.

A Park-vektor - ebben a még nem legáltalánosabb megfogalmazásban - a forgó tér vagy gerjesztés általánosabb alakja. A forgó vektor nagysága és sebessége is változhat itt - sőt még ugrásai is lehetnek mint pl. vezérelt félvezető kapcsolóknál.

1. A háromfázisú vektor mint transzformáció: pillanatértékek képzése, zérussorrendű mennyiségek kezelése.

A Park-vektor vetületei a fázistengelyekre a fázismennyiségek pillanatértékeit adják előjelre helyesen.



Így az

$$a = -\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2} \quad a^2 = -\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2} \quad i_a + i_b + i_c = 0$$

összefüggésekkel (8. ábra):

$$\operatorname{Re}[i] = \operatorname{Re}\left[\frac{2}{3}(i_a + ai_b + a^2i_c)\right] = \frac{2}{3}\left(i_a - \frac{i_b}{2} - \frac{i_c}{2}\right) = i_a$$

és hasonlóan:

$$\operatorname{Re}[a^2i] = i_b \quad \operatorname{Re}[ai] = i_c$$

(mert:)

$$i = i_{\text{valós}} + ji_{\text{képzetes}} = \frac{2}{3}\left[i_a + \left(-\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}\right)i_b + \left(-\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2}\right)i_c\right]$$

$$i_a + i_b + i_c = 0$$

A fázisáramok nem függetlenek:

Ha most elhagyjuk ezt a kikötésünket, és feltételezzük, hogy zérus sorrendű áram is folyik, akkor a fázisáramok pillanatértékei:

$$i_a = i_a' + i_0 \quad i_b = i_b' + i_0 \quad i_c = i_c' + i_0$$

Így az előbbiek szerint:

$$i_a + i_b + i_c = 3i_0$$

A térvektor a zérus sorrendű áramot nem tartalmazza, mivel:

$$i = \frac{2}{3}(i_a + ai_b + a^2i_c) = \frac{2}{3}[(i_a' + i_0) + a(i_b' + i_0) + a^2(i_c' + i_0)] =$$

$$\frac{2}{3}[i_a' + ai_b' + a^2i_c' + i_0(1 + a + a^2)] = \frac{2}{3}(i_a' + ai_b' + a^2i_c')$$

összefüggésből kiesik, így a zérus sorrendű áramot külön kell figyelembe venni

$$i_a = \text{Re}[i] + i_0$$

$$i_b = \text{Re}[a^2i] + i_0$$

$$i_c = \text{Re}[ai] + i_0$$

$$\frac{1}{3}(i_a + i_b + i_c) = i_0$$

3.Szimmetrikus állandósult állapot: az idővektor és a térvektor kapcsolata pozitív és negatív sorrendű áramrendszerek esetében.

Az állandósult pozitív sorrendű szimmetrikus állapotban az áramvektor kifejezése definíciója alapján:

$$i = \frac{2}{3}[I_+ \cos(\omega t + \varphi_+) + aI_+ \cos(\omega t + \varphi_+ - 120^\circ) + a^2I_+ \cos(\omega t + \varphi_+ - 120^\circ)]$$

A fázisáramok itt egyenlő nagyságú, egymástól időben egyező szögekkel eltolt és a választott fázissorrenddel megegyező sorrendű, tehát tiszta pozitív sorrendű szimmetrikus áramrendszert alkotnak.

A koszinusz függvényeket exponenciális alakba átírva
 - amely pl. a második fázisra

$$\cos(\omega t + \varphi_+ - 120^\circ) = \frac{e^{j\omega t} e^{j\varphi} a^2 + e^{-j\omega t} e^{-j\varphi} a}{2}$$

alakú -, majd a szorzásokat elvégezve és $e^{j\omega t}$ ill. $e^{-j\omega t}$ szerint rendezve:

$$i = \frac{1}{3} I_+ [e^{j\omega t} e^{j\varphi} (1 + a^3 + a^3) + e^{-j\omega t} e^{-j\varphi} (1 + a^2 + a^4)]$$

Mivel $1 + a^3 + a^3 = 3$ és $1 + a^2 + a^4 = 0$

$$i = I_+ e^{j\varphi} e^{j\omega t} = I_{a+} e^{j\omega t} = \hat{I}_{a+} \quad i = I_{a+} e^{j\omega t} = \hat{I}_{a+}$$

A szimmetrikus állandósult állapotban tehát a térvektor megegyezik a komplex idővektorral, ha tetszik, az „a” fázis komplexorává fajul el.

A vektor állandó szögsebességgel forog, és végpontja kört ír le. Vetületei egy megfelelő időtengelyre az áram szinuszosan változó pillanatértékeit szolgáltatják.

Ilyenkor a térvektorok ábrái és a szokásos időbeli vektorábrák megegyeznek, és így azokat egymás helyett lehet rajzolni, ill. az egyikből a másik nyerhető.

Ez a „felcserélhetőség” azonban csak ebben a speciális üzemállapotban érvényes.

NEGATÍVRA:

Tiszta negatív sorrendű szimmetrikus állandósult háromfázisú áramrendszer esetén a kifejezésben az ellenkező fázissorrendnek megfelelően a^2 és a helyet cserélnek, és így ebben az esetben az

$$i = I_- e^{-j\varphi} e^{-j\omega t} = I_{a-}^* e^{-j\omega t} = \hat{I}_{a-}^*$$

$$i = I_{a-}^* e^{-j\omega t} = \hat{I}_{a-}^*$$

összefüggésre jutunk. Negatív sorrendű szimmetrikus áramrendszer esetén a térvektor az a fázis negatív sorrendű idővektorának konjugáltjával egyenlő.

A térvektor így I_a^* amplitúdóval a választott forgásiránnyal ellentétes irányban állandó szögsebességgel szinkron forog körbe.

E1) Bevezetés

1. Példák vasmagos és vasmentes tekercsekre. A transzformátorok jellegzetességei és alkalmazásai.

Vasmagos és vasmentes tekercsek:

Pl. 1,8 T értékű, homogén eloszlásúnak feltételezett mágneses indukció 10 m hosszú vasszakaszt tud felmágnesezni. Ugyanekkora mágneses indukció 1mm levegőszakaszt. (a vas permeabilitását 10 000 –nek feltételezzük, a levegőé 1) számítások:

$$\Theta_v = N_v I_v = N_\delta I_\delta = \Theta_\delta$$

ahol Θ a gerjesztés, N a menetszám, I a gerjesztőáram, v a vasra,
 δ a levegőre vonatkozó index.

Másrészt

$$B_v = \mu_0 \mu_v \frac{\Theta_v}{l_v} = \mu_0 \frac{\Theta_\delta}{\delta} = B_\delta$$

Amiből

$$l_v = \mu_v \delta$$

az l_v illetve a
szigma a
felmágnesezett

vasszakasz hossza (l_v), illetve a felmágnesezett levegőszakasz hossza (szigma). B_v és B_δ az indukció, ami jelen esetben megegyezik.

A veszteségek aránya:

$$P_\delta = \mu_v^2 P_v$$

Jól látszik, hogy vasmagmentes trafónál a veszteség műv négyzetszeres, ugyanolyan indukciónál.

Tehát ezért használunk hagyományosan vasmagos tekercselés a megfelelő nagyságú mágneses tér létrehozása céljából, mivel így a veszteségeket jobban minimalizálni tudjuk. Ennek a megoldásnak a hátránya, hogy a vas telítődése miatt csak kb. 2 T indukcióig alkalmazható. Nagy mágneses terek veszteségmentes előállítására kínáló megoldás a szupravezetős tekercsek alkalmazása.

A transzformátor (transz=át, formál=alakít) adott áramú és feszültségű teljesítményt más áramú és feszültségű teljesítménnyé alakít adott frekvencia mellett. Néha a fázisszám is változik. Mi a figyelmünket az energiaátviteli transzformátorokra koncentráljuk.

A transzformátorok **alkalmazásának** okai:

A termelés – szállítás - felhasználás feszültség- és áramszintje más és más:

- *Termelés:* generátorok feszültség – szintje 10 kV nagyságrendű. Ez a szint várhatóan növelhető például szupravezetős generátorok kifejlesztésével és alkalmazásával.

- *Szállítás*: a szállítási veszteségek csökkentése az áramerősség csökkentésével érhető el. Ehhez azonban a feszültség szint növelése szükséges.

- *Felhasználás*: a fogyasztó védelme viszonylag kis feszültségek alkalmazását engedi meg.

Jellegzetességeik:

- Az energiaátviteli transzformátorok feszültségtranszformátorok, azaz feszültségkényszer hatása alatt üzemelnek.

- Fázisszám: háromfázisú rendszerek terjedtek el. Az egységeket vagy három egyfázisú, vagy egy háromfázisú transzformátorból alakítják ki.

- Növekedési törvények: tendenciaszerű összefüggés van érvényben a transzformátorok egységteljesítménye és méretei között.

2. Növekedési törvények.

A transzformátorok mágneses és villamos igénybevételei, a mágneses fluxus és a villamos áramerősség a geometriai méretekkel, L , négyzetesen változnak, így a transzformátor névleges teljesítménye, S , a geometriai méretek negyedik hatványával arányos.

$$S \sim U \times I \sim L^4$$

A teljesítménnyel a lineáris méretek csak ebben az arányban nőnek:

$$L \sim \sqrt[4]{S}$$

A G súly és a villamos gépek azzal arányos $\acute{A}$ ára arányos a köbtartalommal:

$$G \sim \acute{A} \sim L^3 \sim S^{\frac{3}{4}}$$

A térfogat azonban a méretek harmadik hatványával arányos:

$$V \sim L^3$$

Ezért a fajlagos mutató, a , az egységteljesítmény-súly és az egységteljesítmény-ár

$$a = \frac{V}{S} \sim \frac{1}{L} = \frac{1}{\sqrt[4]{S}}$$

Növekvő egységteljesítménnyel csökken.

A vas- és a rézvesztések (üresjárási és rövidzárási veszteségek) és a mágneses meddő teljesítmény egyaránt a súllyal arányosak, így azok is a teljesítménynek csak a $\frac{3}{4}$ -dik hatványával nőnek:

$$P_{\text{vas}} \sim S^{\frac{3}{4}} \quad P_{\text{tek}} \sim S^{\frac{3}{4}} \quad Q_{\text{magn}} \sim S^{\frac{3}{4}}$$

Így a teljesítmény növekedésével a hatásfok is javul az egységár csökkenése mellett.

A hűtőfelület viszont csak a lineáris méret négyzetével nő, így a viszonylagos hűtőfelület:

$$f_{\text{huto}} \sim \frac{F_{\text{huto}}}{S} \sim \frac{L^2}{L^4} \sim \frac{1}{L^2} \sim \frac{1}{\sqrt{S}}$$

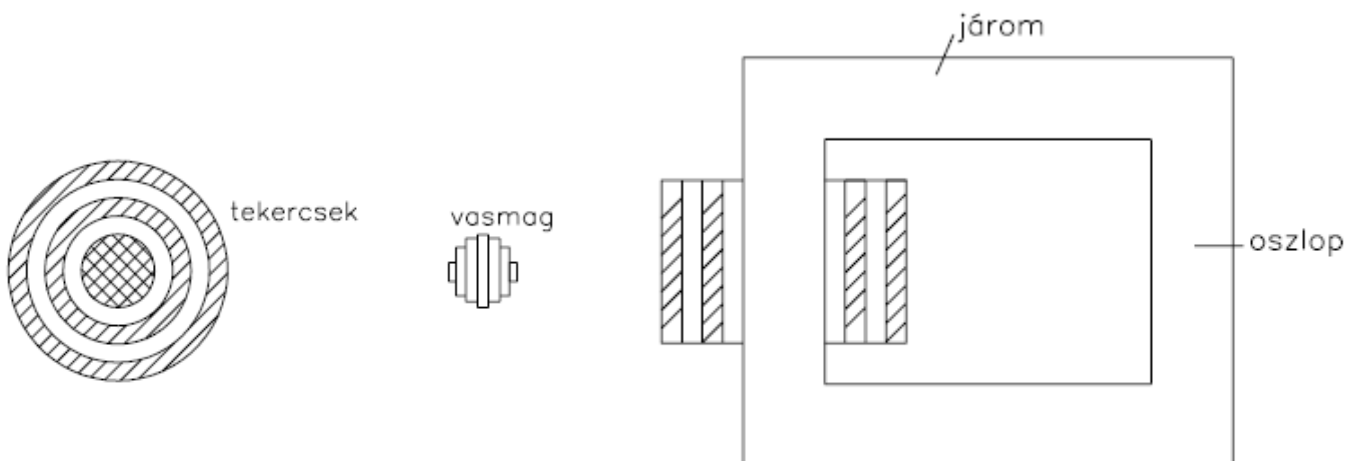
(fhuto a viszonylagos hűtőfelület)

(Tehát növekvő egységteljesítménnyel egyre intenzívebb hűtés szükséges!!)

Előnyös tehát nagyobb egységteljesítményű transzformátorokat gyártani!

E2) Egyfázisú transzformátorok

1. Működési elv, a vasmag, a vasvesztés, a tekercselés.



[A transzformátor olyan villamos gép, amely adott áramú és feszültségű teljesítményt más áramú és feszültségű teljesítménnyé alakít a mágneses tér közbeiktatásával, adott frekvencia mellett. (néha a fázisszám is változik)]

Működési elv: Működése során a transzformátor primer oldalán a váltakozó áram a nyitott vagy zárt vasmagban váltakozó mágneses fluxust kelt, ami a szekunder áramkörben feszültséget indukál. A szekunder oldalra villamos terhelést kapcsolva megindul a szekunder áram, és ezzel valósul meg az energiaátvitel.

A transzformátorok aktív részei: a tekercsek és a vasmag.

A vasmag az alábbi feladatokat látja el:

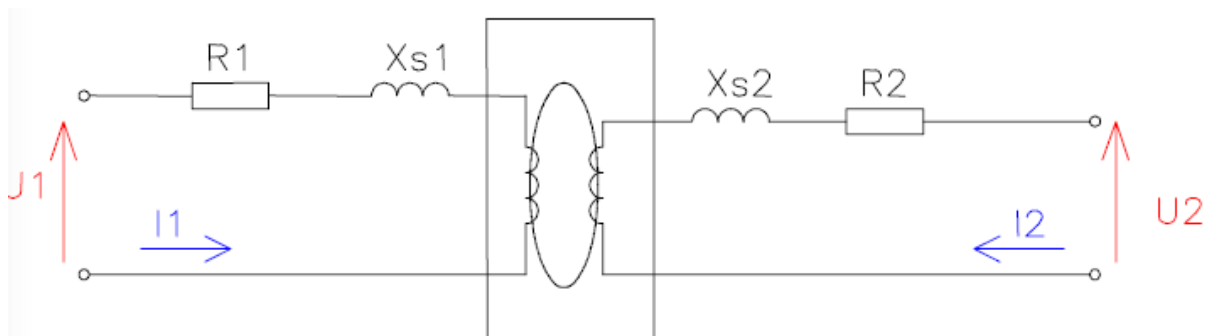
1. Elősegíti, hogy a szükséges mágneses indukciót minél kisebb gerjesztő (mágnesező) áram hozza létre.
2. Elősegíti a mágneses fluxus előírt útvonalra történő terelését.
3. A vasvesztés csökkentése érdekében lemezelt.
4. A kör keresztmetszet minél jobb közelítése érdekében lépcsőzött.

A tekercselés:

1. A legegyszerűbb az ábrán is látható hengeres tekercselés.
2. A tekercsek egymásba vannak tolva a két tekercs közötti szoros csatolás végett.
3. Kívül van a nagyfeszültségű, belül a kisfeszültségű tekercs, így könnyebb a szigetelés megoldása

Vasvesztések (üresjárási veszteség): Transzformátor vasmagjában keletkező veszteség. A mágneses hiszterézis és az örvényáramok következtében keletkező hőmennyiséget mutatja. Az örvényáramvesztés csökkentése érdekében a vasmagot lemezelik. A lemezeket, speciális anyagot használva, hidegen hengerelve készítik. Az Üresjárási állapotban felvett teljesítmény közelítőleg megegyezik a vasvesztéssel.

Helyettesítő kapcsolás:



(R_1 , R_2 a tekercsek ellenállása, X_{s1} X_{s2} a szórási reaktanciák U_1 I_1 a primer oldali áram, ill. feszültség, U_2 I_2 szekunder oldali...)

2. Fő- és szórt fluxus, az indukált feszültség számítása.

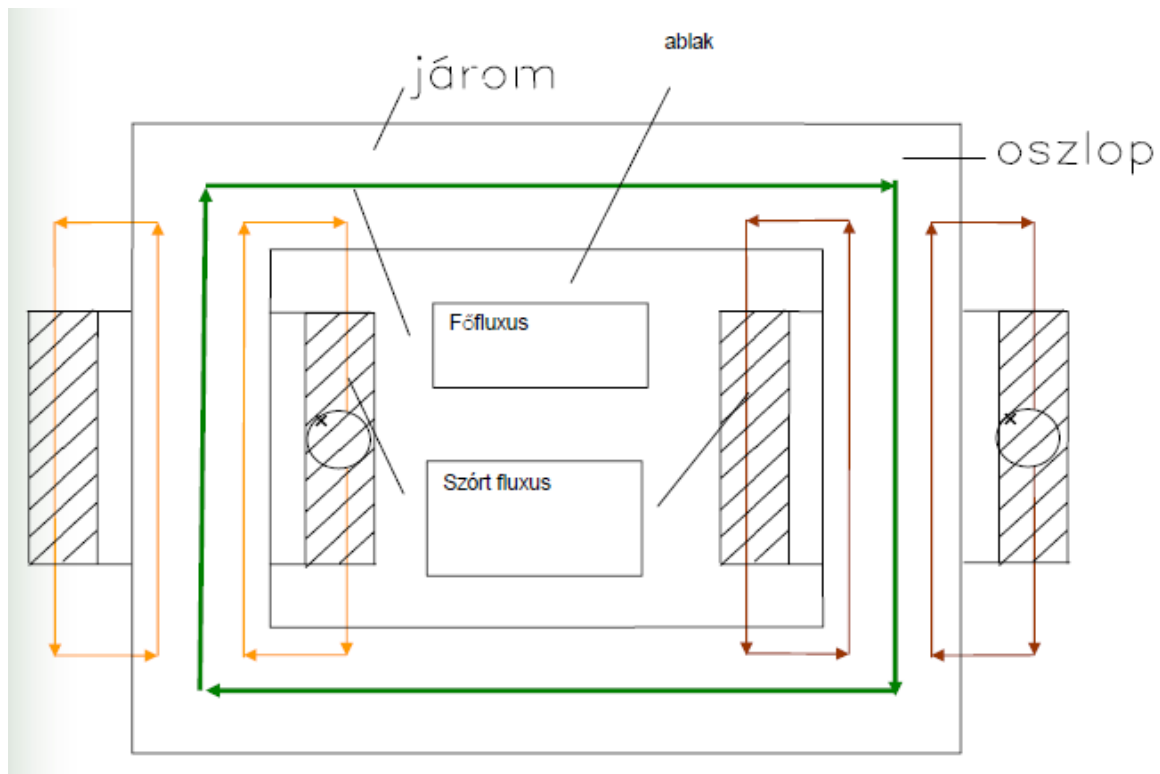
Főmező: Transzformátor mágneses terének azon része, amely kapcsolódik mind a primer, mind a szekunder tekercsel. A főmező biztosítja az energiaátalakítást. (A főfluxus : a csatolásban részt vevő kölcsönös fluxus.)

Szórt tér: Transzformátor mágneses terének azon része, amely vagy csak a primer vagy csak a szekunder tekercsel kapcsolódik, az energiaátalakításban nem vesz részt. (Szórt fluxusok: a csatolásban részt nem vevő fluxusok.)

A főfluxus teljes időfüggvénye:

$$\overline{\overline{\Phi}}_m = \overline{\Phi} e^{j\omega t} = \Phi_m e^{j\varphi_\phi} e^{j\omega t}$$

Fő- és szórt fluxusok:



Indukált feszültség: A transzformátor változó mágneses tere által indukált feszültség.

$$\overline{\overline{U}}_{i1m} = j\omega N_1 \overline{\Phi}_m e^{j\omega t}, \quad \overline{\overline{U}}_{i2m} = j\omega N_2 \overline{\Phi}_m e^{j\omega t}$$

A csúcserték:

$$\overline{U}_{1i,\max} = j\omega N_1 \overline{\Phi}_m \quad \overline{U}_{2i,\max} = j\omega N_2 \overline{\Phi}_m$$

$$n = \frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2} \quad \text{Hányadosuk a menetszámmátétel.}$$

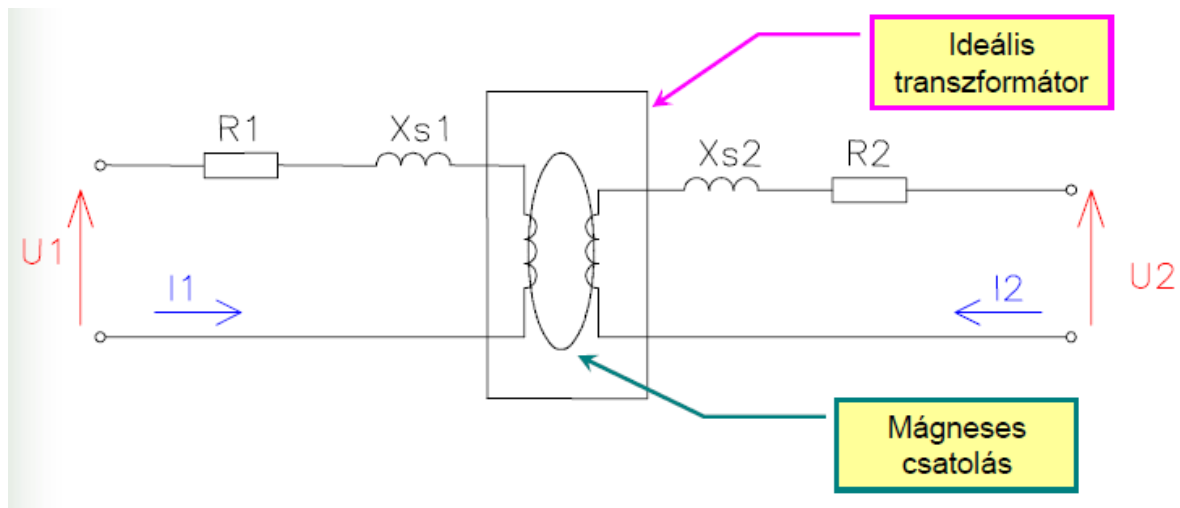
Effektív értéke a primer oldalnak, ha szinuszos a jelalak:

$$B_o \text{ az oszlopindukció csúcsértéke, } A_v = k_g k_v A_0$$

A_v a vaskeresztmetszet, k_g a geometriai, k_v pedig a vaskitöltési tényező A_0 a vasmag köré írható kör keresztmetszete.

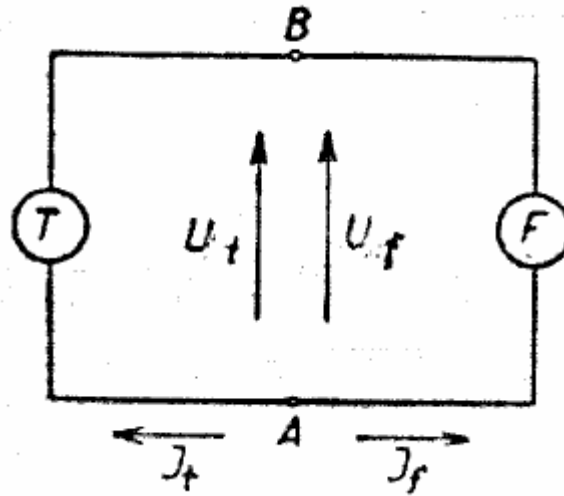
3. Az ideális transzformátor, a fogyasztói pozitív irányrendszer, feszültség-egyenletek, viszonylagos egységek.

Ideális transzformátor: Olyan transzformátor, melynek az áramkörbe való beiktatásakor csupán áttétele* befolyásolja az áramkört, egyéb tulajdonságai nem; vesztesége nincs. Ideális esetben a primer és a szekunder tekercsek között a csatolás tökéletes, azaz mindkét tekercs ugyanazt a mágneses fluxust (Φ) veszi körül.



Az egyenletek felírásához pozitív irányrendszer választása is szükséges. Mi az ún. **fogyasztói pozitív irányrendszert** használjuk, amelyben a felvett teljesítmények előjele pozitív.

Az ábra szimbolikus T termelő és F fogyasztó kétpólusa mindegyikében mind az áram mind a feszültség pozitív irányát egyformán A-tól B felé választjuk.

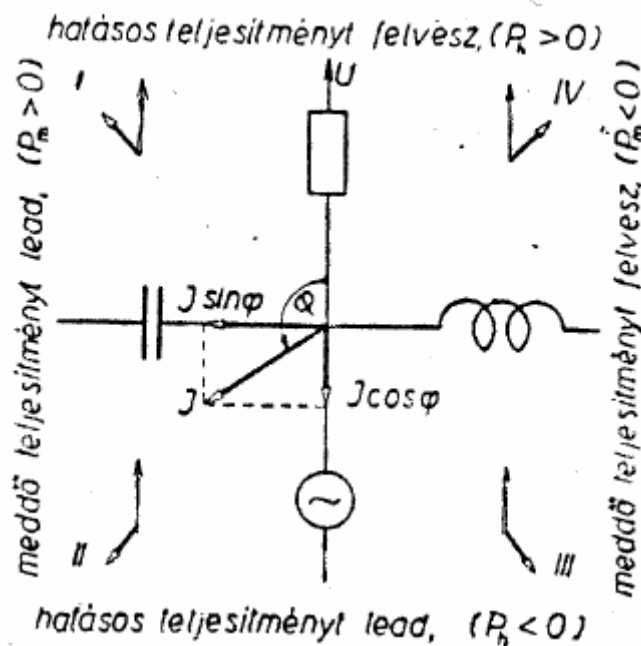


A választott

- a felvett határos előjelű, a leadott
- a kondenzátor teljesítménye
- az induktivitás teljesítménye negatív előjelű.

irányrendszerrel:

teljesítmény pozitív
negatív.
„leadott” meddő
pozitív,
„felvett” meddő



A komplex kifejezve a egyenlete:

$$\begin{aligned}\bar{U}_1 &= R_1 \bar{I}_1 + jX_{s,1} \bar{I}_1 + \bar{U}_{1,i} \\ \bar{U}_2 &= R_2 \bar{I}_2 + jX_{s,2} \bar{I}_2 + \bar{U}_{2,i}\end{aligned}$$

effektív értékekkel
transzformátor feszültség-

Az egyenletek jól mutatják a fogyasztói pozitív irányrendszer választásának előnyét: az egyenletek szimmetrikusak, ugyanolyan alakúak mindkét tekercsre.

Az egyes komponensek nagyságrendjét sokszor relatív egységekben, százalékosan szokás megadni. A viszonyítási alapok mindig a megfelelő névleges értékek. A relatív értékeket általában kisbetűvel jelöljük. A helyettesítő kapcsolásban szereplő koncentrált paraméterek relatív értékének meghatározásakor a viszonyítási alap a névleges impedancia, ami a névleges feszültség és a névleges áram hányadosa.

Névleges impedancia:

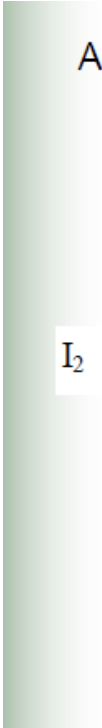
$$Z_{1,n} \Big|_{\text{fázis!}} = \frac{U_{1,n}}{I_{1,n}} \Big|_{\text{fázis!}}$$

A feszültség-egyenlet viszonylagos egységekben kifejezett alakja:

$$\begin{aligned} \overline{u_1} &= r_1 \overline{i_1} + j x_{s,1} \overline{i_1} + \overline{u_{i,1}} \\ \overline{u_2} &= r_2 \overline{i_2} + j x_{s,2} \overline{i_2} + \overline{u_{i,2}} \end{aligned}$$

4. Mágneses Ohm-törvény, feszültség-kényszer, a gerjesztések egyensúlyának törvénye, áram-áttétel.

A főfluxusnak megfelelő induktivitást pl. a **mágneses Ohm-törvény** segítségével határozhatjuk meg. A főfluxus a vasmag ablakában található teljes gerjesztés, tehát a primer és a szekunder gerjesztések összege hozza létre. A főfluxus útjának mágneses vezetése Λ_m , ezzel a fluxuskapcsolódás a primer tekercssel:

$$A$$

$$\text{Fluxus} = \text{Mágneses vezetőképesség} \times \text{Gerjesztés}$$

$$\Phi = \Lambda \Theta$$

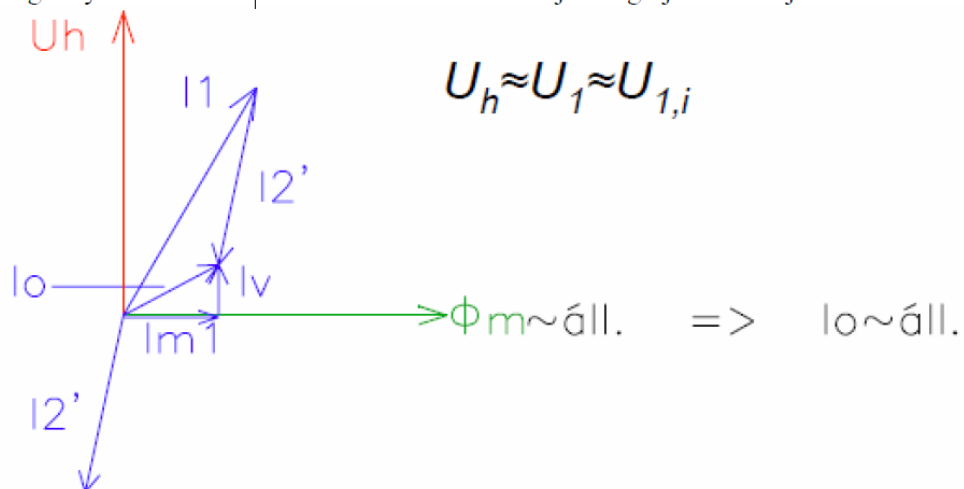
$$\Theta = \sum_k I_k,$$

A tekercsfluxus:

$$\Psi = N \Phi$$

- feszültség-kényszer.

Az állandó $U_{I,i}$ indukálásához állandó Φ_m főfluxus szükséges, annak létesítéséhez pedig állandó $I_{I,o}$ üresjárási áram ill. állandó $\Theta_{I,o} = N I_{I,o}$ üresjárási gerjesztés. Az $U_h = \text{áll}$ hálózati feszültségkényszer tehát a transzformátor állandó üresjárási gerjesztését írja elő.



gerjesztések egyensúlyának törvénye:

A feszültségkényszer miatt:

$$\overline{\Theta}_{eredő} \cong \overline{áll} \Rightarrow \overline{I}_{m,1} \approx \overline{áll}$$

Vagyis az eredő gerjesztés (a vasveszteség elhanyagolásával) a primer mágnesező gerjesztéssel egyezik meg.

$$\text{Így: } \overline{I}_{m,1} = \overline{I}_1 + \overline{I}_2' \cong \overline{áll}$$

A vasveszteséget is figyelembe véve:

$$\overline{\Theta}_1 + \overline{\Theta}_2 \approx \overline{áll} = \overline{\Theta}_{1,ij} \Rightarrow \approx \overline{0}$$

$$\overline{I}_1 + \overline{I}_2' \approx \overline{áll} = \overline{I}_{1,ij} \Rightarrow \approx \overline{0}$$

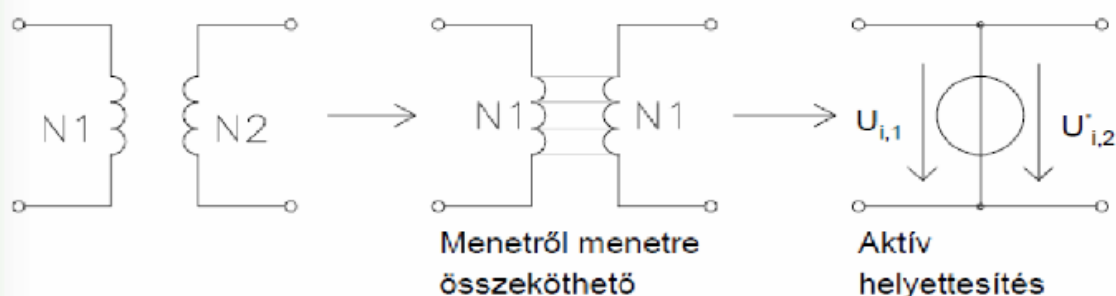
Az áramáttétel: $N_1/N_2 = I_2/I_1$

Vagyis

$$\frac{I_{1_{eff}}}{I_{2_{eff}}} \approx \frac{1}{n}$$

5. Gerjesztés- és teljesítményinvariancia, redukálási szabályok, az impedancia-elemek nagyságrendjei.

Az ideális transzformátor kiküszöbölése



1. *Következtetés:* az ideális transzformátor kiküszöbölését a **gerjesztések invarianciája**= változatlansága mellett oldottuk meg. Ezzel a változtatással azonban a paraméterek is módosulnak. Milyen feltételt szabunk a paraméterek változására?

2. *Következtetés:* energiaátviteli transzformátort vizsgálunk, ezért célszerű az a választás a paraméterek változására, hogy a **teljesítmény** is **invariáns** legyen.

Ez teljesül:

$$S_2 = U_2 I_2 = (n U_2) \left(\frac{I_2}{n} \right) = U_2' \cdot I_2'$$

Hasonlóan: $P_{t,2} = R_2 I_2^2 = R_2 \left(\frac{I_2}{n} \right)^2 n^2 = n^2 R_2 (I_2')^2 = R_2' (I_2')^2$

Láthatóan:

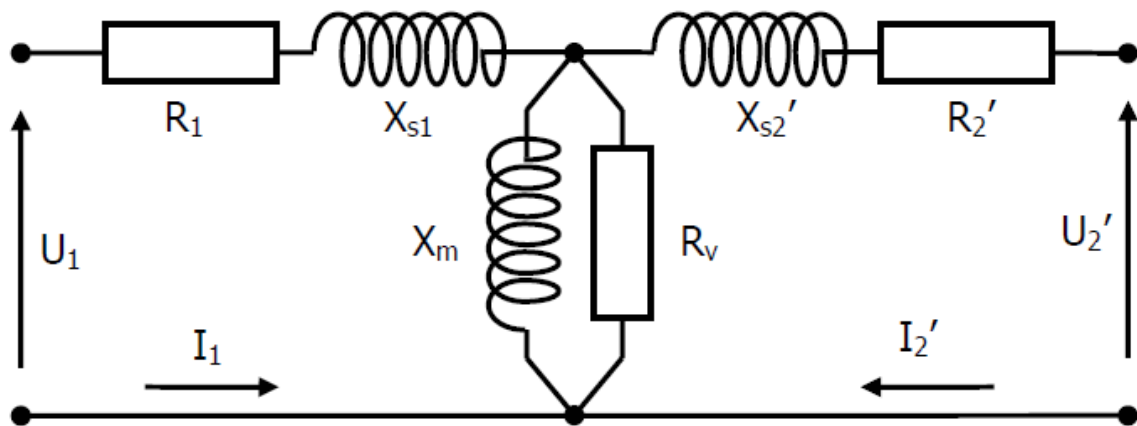
$$R_2' = n^2 R_2$$

$$X_s' = n^2 X_s$$

Általában:

$$Z_2' = n^2 Z_2$$

A transzformátor helyettesítő kapcsolása:



(R_1 , R_2 a tekercsellenállások, X_{s1} X_{s2} a szórási reaktanciák, X_m a főmező reaktanciája, R_v a vasveszteségi ellenállás)

Redukálás: ahhoz, hogy a helyettesítő kép egy áramkör legyen, a szekunder oldali mennyiségeket át kell alakítani (redukálni) a primerre az alábbi összefüggések szerint:

$$U_2' = n \cdot U_2; I_2' = \frac{I_2}{n}; R_2' = n^2 \cdot R_2; X_{s2}' = n^2 \cdot X_{s2}$$

Impedancia elemek nagyságrendje:

Az üresjárási áram viszonylagos értéke nagyságrendben:

$$I_{1,0} \approx 0,1 \cdot I_{1,n} \quad \text{alapján} \quad i_{1,0} \approx 0,1 = 10\%$$

$$x_{1,m} \approx \frac{u_1}{i_{1,0}} \approx 10 = 1000\%$$

$$p_{vas} = \frac{u_{1,i}^2}{r_v} \approx 0,01 \Rightarrow r_v \approx 100 = 10000\%$$

6. A térelméleti helyettesítő kapcsolás, egyszerűsített helyettesítő kapcsolások.

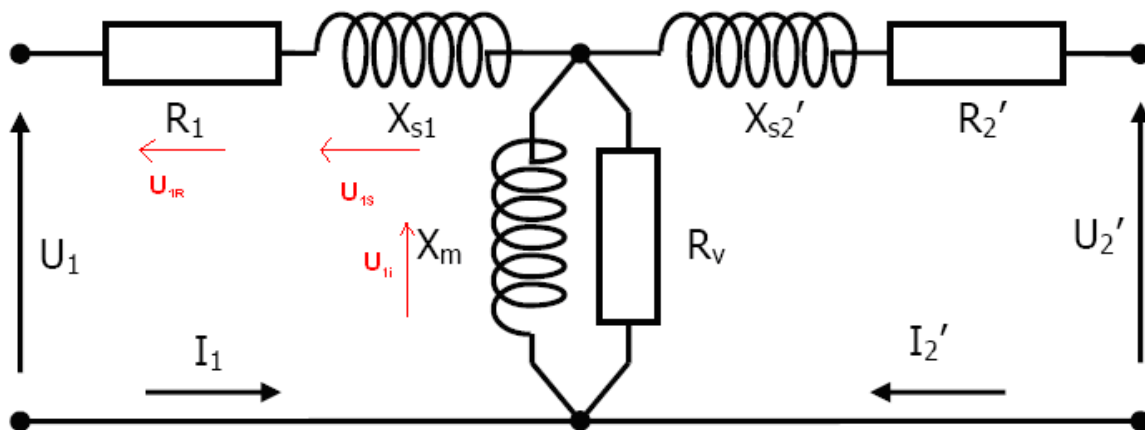
A transzformátor működésének magyarázatánál kiderült, hogy bonyolult fizikai folyamatok zajlanak egyidőben és e folyamatok hatásainak szuperpozíciója eredményezi az eszköz működését. vizsgálathoz a valós fizikai modell bonyolult, ezért célszerű egy koncentrált paraméterű elemekből álló modell létrehozása.

E modell be- és kimeneti pontjain pontosan „lemásolja” a transzformátor primer és szekunder oldalán megjelenő villamos jeleket, de felépítését tekintve olyan, hogy egyszerű hálózatszámítási módszerekkel kezelhető legyen.

A modellhez a transzformátor lényeges fizikai folyamatainak kihangsúlyozásával és a kevésbé lényegesek elhanyagolásával jutunk el.

A helyettesítő áramkör (modell) ellenállások és reaktanciák kombinációja, mely bizonyos határok között úgy viselkedik, mint maga a transzformátor. Számos olyan helyettesítő áramkör rajzolható, melynek elemeit helyen megválasztva, a transzformátort jól reprodukáló modellhez jutunk.

Transzformátorok állandósult állapotának vizsgálatánál használt „T” kapcsolású áramkör.



R1,R2 - Tekercsellállások: a primer és szekunder (kis- és nagyfeszültségű) tekercsek ohmos ellenállásai

Xs1,Xs2 - Szórási reaktancia: a primer illetve szekunder tekercsek szórási fluxusát leképező induktivitásokkal számított reaktanciák.

X_m - Főmező reaktancia: a mindkét tekercsel kapcsolódó **főmező**. A főmező reaktancia értéke jelentősen függ a transzformátor vasmagjának telítési állapotától.

R_v - Vasveszteségi ellenállás: Fiktív ellenállás, amelyen keletkező wattos veszteség megegyezik a vasveszteséggel.

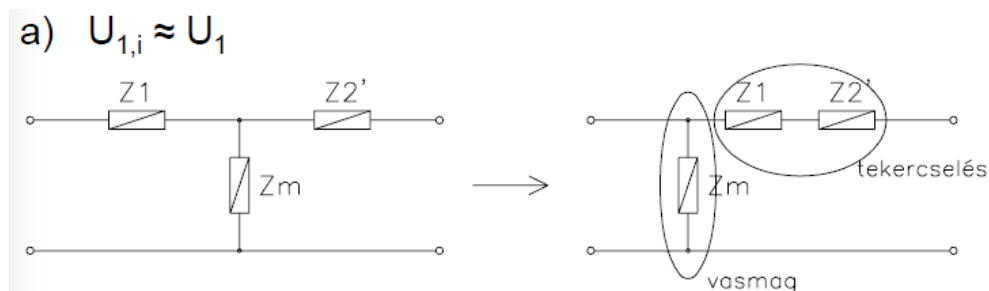
Redukálás: ahhoz, hogy a helyettesítő kép egy áramkör legyen, a szekunder oldali mennyiségeket át kell alakítani (redukálni) a primerre az alábbi összefüggések szerint:

$$U_2' = n \cdot U_2; I_2' = \frac{I_2}{n}; R_2' = n^2 \cdot R_2; X_{s2}' = n^2 \cdot X_{s2}$$

Tehát pl az I₂' áram (primerre redukált szekunder áram) az a képzelt áram amely a primer tekercsben folyva ugyanakkora gerjesztést hozna létre, mint a valóságos szekunder áram a szekunderben.

Egyszerűsített kapcsolások

Egyszerűsített helyettesítő kapcsolások:



Különválasztva szerepelnek a vasmagra és a tekercselésre jellemző áramköri elemek.

Ezek mérése is igen egyszerű:

Vasmag: üresjárás

Tekercselés: rövidzáras

Vasra jellemző mennyiségek (X_m főmező reaktancia, R_v- vasveszteség)

$$Z_m = X_m + R_v$$

Tekercselésre jellemző mennyiségek (szórási reaktanciák primer és szekunder oldalra + tekercselési ellenállás)

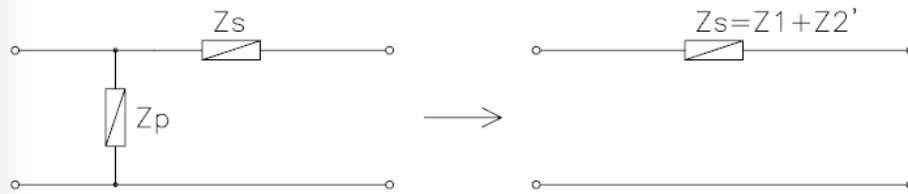
$$Z_1 = X_{1s} + R_1$$

$$Z_2' = X_{2s}' + R_2'$$

Üresjárásban Z₁, Z₂'-n nem folyik áram így nem esik feszültség sem

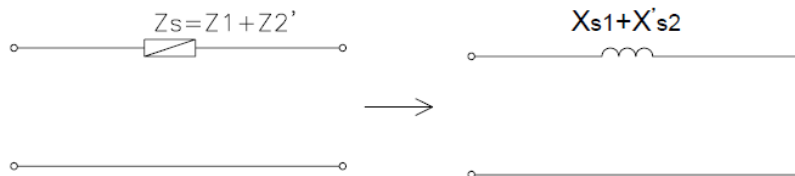
Rövidzárnál azzal a közelítéssel élünk hogy $Z_m \gg Z_1, Z_2$ így az összes áram Z₁, Z₂'-n folyik.

b) $Z_p \gg Z_1, Z_2$

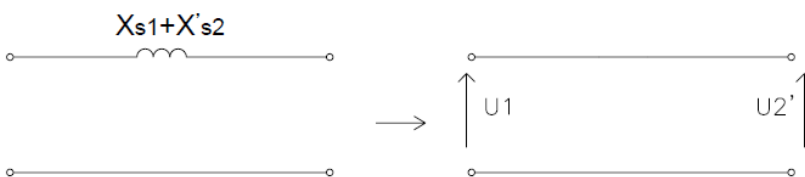


Az üresjárási áram és a vasveszteség az üzem számításakor sokszor elhanyagolható; ha nem fontos a hatásfok számítása, ezt az egyszerűsítést szokás választani.

c) $R_1, R_2' < X_{s,1}, X_{s,2}'$



d) Ideális, veszteség- és szórásmentes transzformátor:



$$\overline{U}_1 = \overline{U}_{1i} + \overline{U}_{1R} + \overline{U}_{1S} \quad ; \quad \overline{U}_2 = \overline{U}_{2i} + \overline{U}_{2R} + \overline{U}_{2S}$$

$\overline{U}_{1i}$ - primer tekercsben indukált feszültség

A helyettesítő képben egy N menetszámú, ideális tekercsben fog keletkezni.

$\overline{U}_{1R}$ - primer tekercs ohmos ellenállására eső feszültség.

A helyettesítő képben a primer tekercs ohmos ellenállásával megegyező értékű R ellenálláson fog keletkezni.

$\overline{U}_{1S}$ - a primer tekercs szórt fluxusa által indukált feszültség. A helyettesítő képben a tekercsselsőbakötött X_{1S} ideális induktív reaktanciával modellezzük.

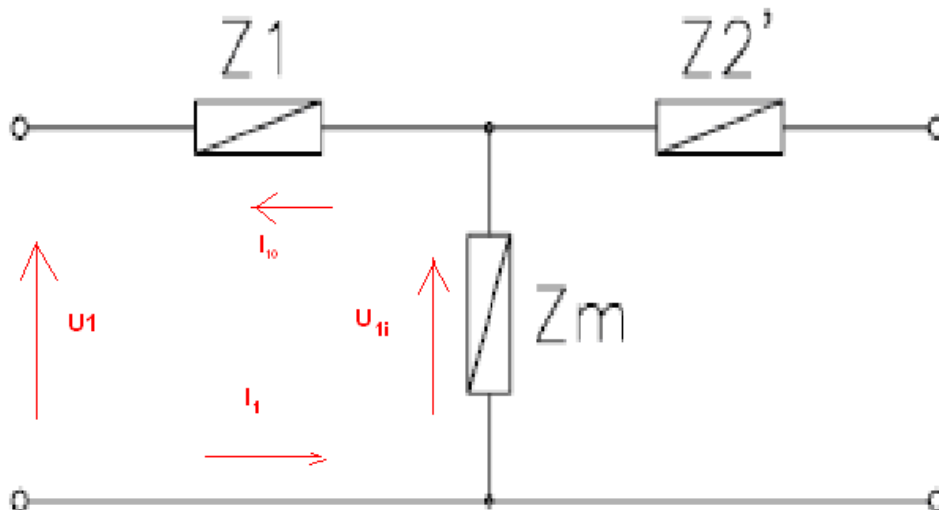
7. Fazorábra: üresjárási állapot

Erőátviteli hálózataink állandó feszültségű és állandó frekvenciájú

rendszerek. Ez transzformátoraink és váltakozó áramú gépeink működését, vizsgálatát alapvetően befolyásolja. Az

$$U_{\text{hál}} = U_1 = \text{áll. (f}_{\text{hál}} = \text{áll.) (6-22)}$$

alapvető kényszer hatását jól követhetjük a transzformátor fázorábráján, amelyet a helyettesítő kapcsolás alapján rajzolhatunk fel.



Induljunk ki üresjárásból. Ekkor a primer impedancián a kis

$$I_{10} \approx 0,0I_1$$

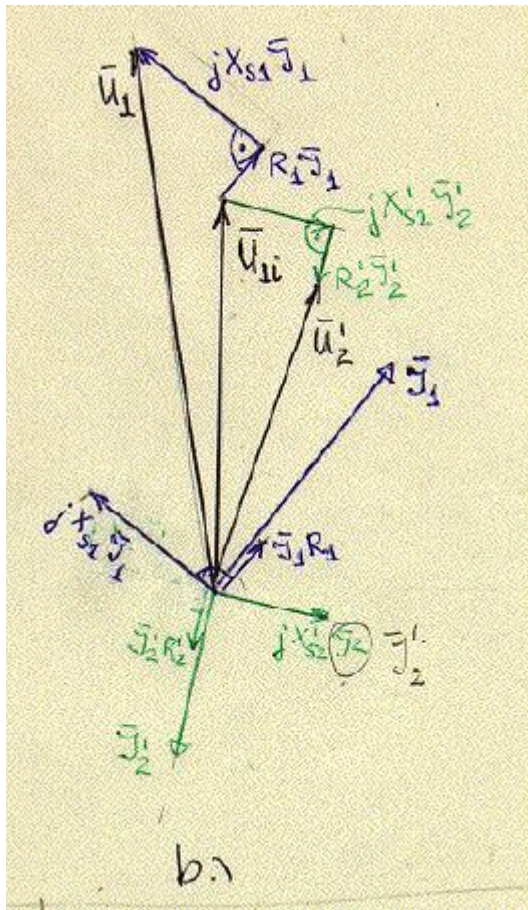
üresjárási áram nagyon kis feszültségesést hoz létre így:

$$U_1 \approx U_{1i} = \text{áll.}$$

Mindjárt megjegyezzük, hogy a primer feszültségesés terheléskor is csak néhány százalék így ez az összefüggés jó közelítéssel akkor is érvényes.

Az állandó U_{1i} indukálásához állandó Φ főfluxus szükséges, annak létesítéséhez pedig $I_0 = \text{áll.}$ állandó üresjárási áram ill. állandó $F_0 = N_1 I_0$.

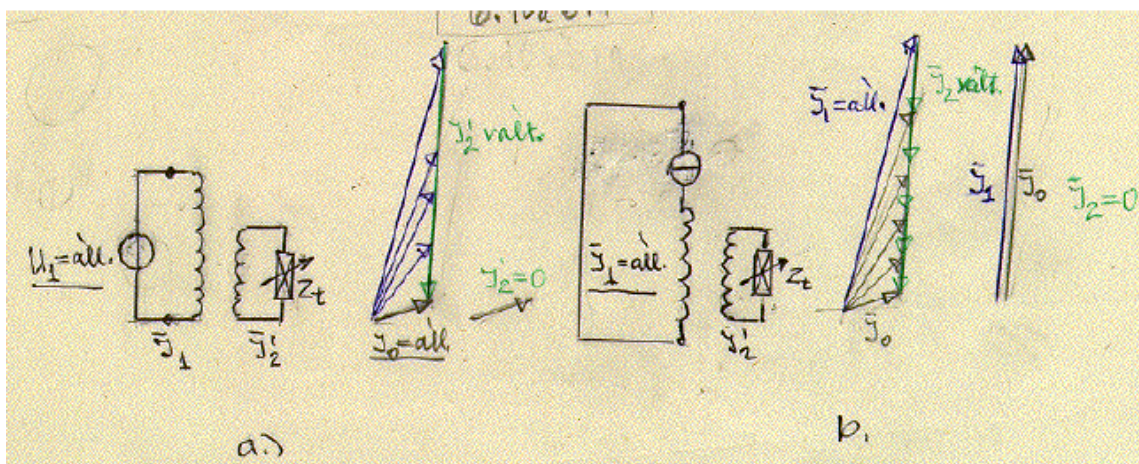
Az $U_h = \text{áll.}$ hálózati feszültségkényszer tehát a transzformátor állandó üresjárási gerjesztését írja elő.



8. Feszültség- és áramtranszformátor.

Feszültség- és áramtranszformátor:

A 6.11a. ill. b. ábrakon feszültség- ill. áramtranszformátor kapcsolását valamint $\bar{I}_2$ és $\bar{I}_1$ terhelésfüggő változását rajzoltuk fel $\bar{Z}_t$ állandó fázisszögét feltételezve.



Az **első** esetben az $\bar{I}_o = \overline{áll}$ kényszer következtében a két áram változása a gerjesztések egyensúlya törvény szerint "összehangolt".

A **második** esetben az $\bar{I}_1 = \overline{áll}$ kényszer következtében $\bar{I}_2' = 0$ -hoz $\bar{I}_1 = \bar{I}_o$ azaz pl. ≈ 20 -szoros üresjárási áram és az ahhoz tartozó - a telítést figyelembe véve is - nagy fluxus tartozik, káros hatásaival.

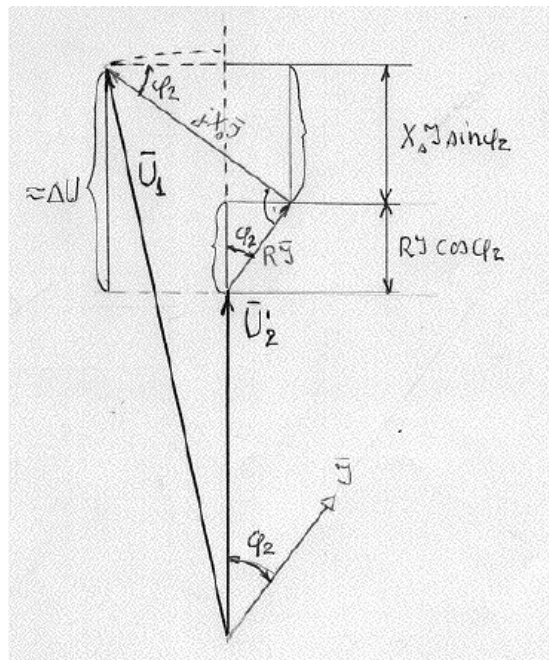
9. A transzformátor feszültségváltozása. A transzformátor rövidzárási állapota. A drop fogalma.

A transzformátor feszültségváltozása - ami induktív terheléskor feszültségesés - a transzformátor szekunder kapocsfeszültségének megváltozása a terhelés hatására, azaz az üresjárási $U_{2,0}$ és terhelési U_2 szekunder kapocsfeszültségek nagyságainak különbsége az üresjárási értékre vonatkoztatva:

$$\frac{\Delta U}{U_{2,0}} = \frac{U_{2,0} - U_2}{U_{2,0}}$$

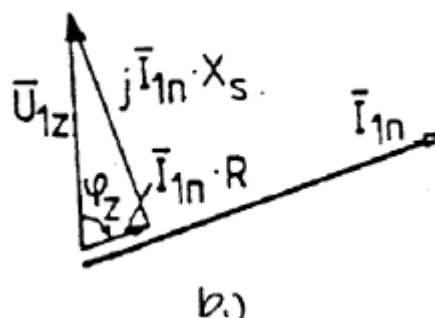
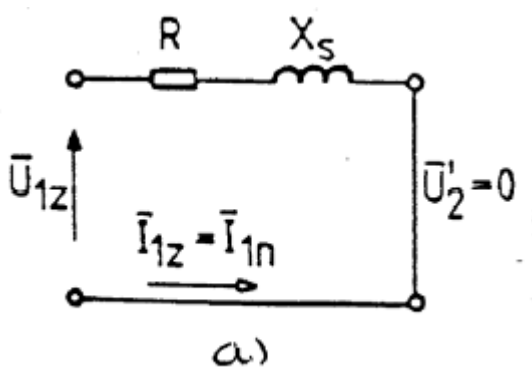
A szekunder feszültségeket a primerre redukálva a névleges értékkel

$$\frac{\Delta U}{U_{1,n}} = \frac{U_{1,n} - U_2'}{U_{1,n}}$$



Megkülönböztetjük az **üzemi** és a **mérési rövidzárást**. Előbbinél a névleges primer feszültségre kapcsolt transzformátor szekunderjének rövidzárásakor, ha a transzformátor névleges feszültségesése 5%, akkor 20-szoros állandósult áram keletkezik 400-szoros erő- és hőhatással. Ezt még megelőzi egy nagyobb átmeneti áramcsúcs. Az üzemi rövidzárlattal nem foglalkozunk. A zárlati mérés segítségével a transzformátorok egyik alapvető jellemzője, a **drop** határozható meg.

A mérési rövidzárlathoz tartozó helyettesítő kapcsolás a) és a vektorábra b):



Mérési rövidzáráskor az a) ábra szerint a rövidrezárt transzformátor primer feszültségét addig növeljük, míg abban a névleges áram folyik. Ennek a feszültségnek a névleges értékre vonatkoztatott - rendszerint százalékban megadott - értéket nevezzük a transzformátor rövidzárási feszültségének vagy dropjának:

$$\frac{\bar{U}_{1,z}}{U_{1,n}} = \frac{\bar{I}_{1,n} R}{U_{1,n}} + j \frac{\bar{I}_{1,n} X_s}{U_{1,n}}$$

A bevezetett jelölésekkel: $\bar{\varepsilon} = \varepsilon_R + j\varepsilon_X$

$$|\bar{\varepsilon}| = \varepsilon = \sqrt{\varepsilon_R^2 + \varepsilon_X^2} = \text{DROP}$$

Az ε -nal jelölt drop tehát nem más, mint a transzformátor rövidzárási feszültségesése százalékos (viszonylagos) értékben megadva. Szokásos nagysága a transzformátor terhelésétől függően 5–15%; nagyobb névleges teljesítményhez általában nagyobb drop tartozik a zárlati áramok korlátozása érdekében.

A drop a transzformátor fontos jellemzője. Megszabja a rövidzárlati áram nagyságát, az előbbiek szerint a feszültségesést és a transzformátorok párhuzamos kapcsolásakor is szerepe van.

E3) Háromfázisú transzformátorok

1. Származtatás, működési elv, az üresjárási áram aszimmetriája.

Háromfázisú transzformátort legegyszerűbben úgy nyerünk ha 3 darab egyfázisú transzformátor primer és szekunder tekercseit láncoljuk pl. csillagba vagy háromszögbe kapcsoljuk. Hiba esetén ilyenkor elég egy egyfázisú transzformátort cserélni illetve nagy teljesítménynél a szállíthatóság írhatja elő a három különálló gépet "darabot". Mindjárt látjuk, hogy a háromfázisú egység olcsóbb ezért Európában, nálunk is, többnyire ezt alkalmazzák.

A használatos magtípus

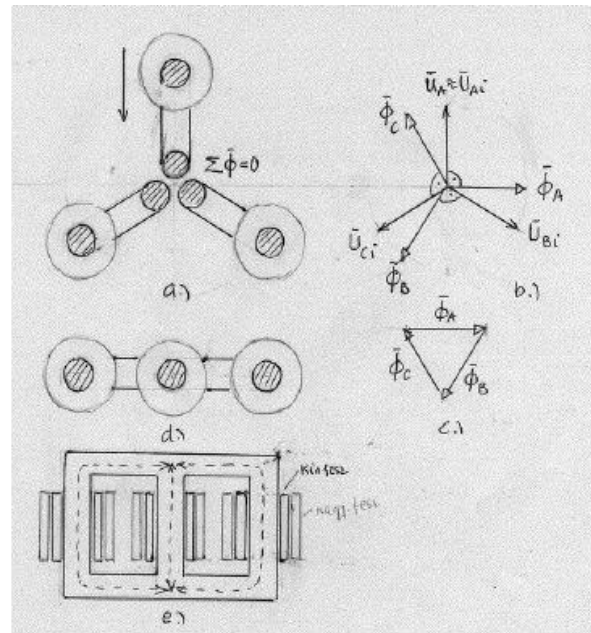
leszármaztatásához helyezünk el három lánctípusu egyfázisú egységet szimmetrikusan, a).

A b) ábrán a hálózat szimmetrikus háromfázisú feszültségrendszerét, az azzal gyakorlatilag egyező indukált feszültségrendszert és az utóbbihoz 90°-kal késő fluxus-rendszert rajzoltunk.

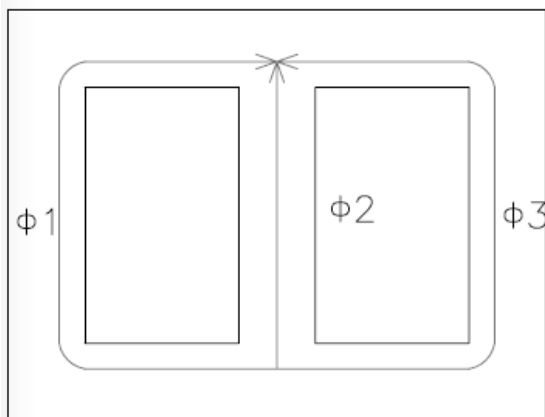
A c) ábrán látható, hogy $\sum \bar{\Phi}_k = 0$

Az a) ábra középső oszlopa így fluxusmentes és elhagyható.

Az egyik oszlopot a másik kettő közé betolva a d) és e) ábrákon a használatos aszimmetrikus magtípusu háromfázisú transzformátort látjuk.



A középső oszlop rövidebb mágnesútja annak kisebb üresjárási áramát igényli, így az a háromfázisú üresjárási áramrendszer aszimmetriáját idézi elő.



A feszültség - kényszer miatt

$$\bar{\Phi}_1 = \bar{\Phi}_2 = \bar{\Phi}_3$$

A mágnesezési úthosszak :

$$l_2 < l_1 \text{ és } l_3$$

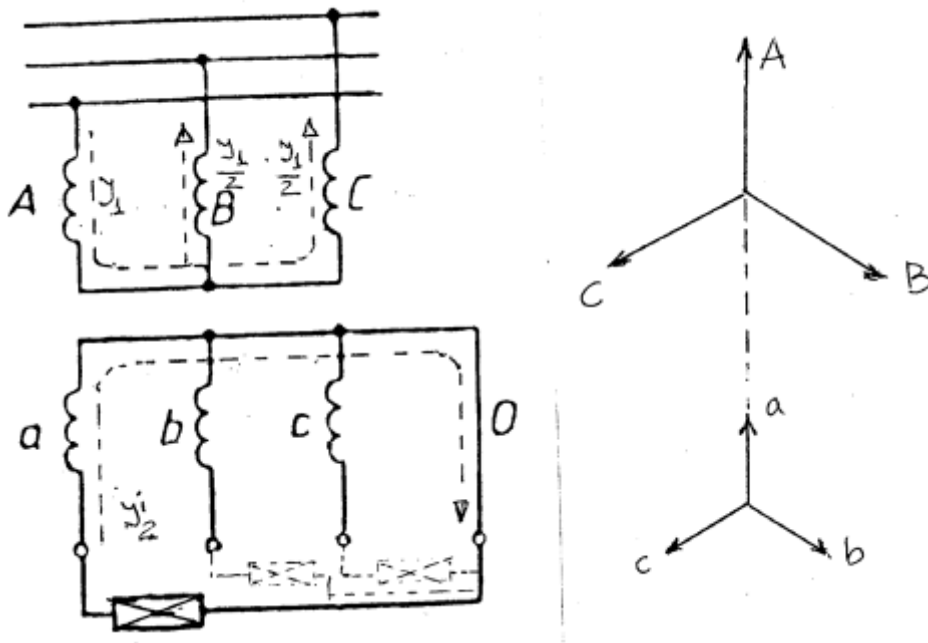
így :

$$\bar{\Theta}_2 < \bar{\Theta}_1 \text{ és } \bar{\Theta}_3$$

Ennek hatásait a továbbiakban elhanyagoljuk.

2. Aszimmetrikus terhelés, kiegyenlítettlen gerjesztés, a feszültség-rendszer aszimmetriája.

A háromfázisú transzformátorok fázistekercseit **csillagba** vagy **deltába** vagy - csak a szekunder oldalon és kizárólag négyvezetékes kommunális fogyasztóknál - **zeg-zugba** kapcsolják. A kapcsoljelölések cseréjével elméletileg 1296 változat lehetséges, de a gyakorlatban csak néhányat alkalmaznak. Problémát elsősorban az egyfázisú kommunális fogyasztók (lakások, irodák, stb.) okoznak. A kivezetett csillagponttal un. négyvezetékes rendszert nyerünk (l. ábra a következő dián) és az egyes fogyasztókat a nullavezeték és egy fáziskapoc közé kapcsolják. A fázisokat az egyes utcák, házak között elosztják. Az egyes fázisok fogyasztói csoportjai nem egyformán terhelik a hálózatot, így **aszimmetrikus terheléseloszlás** jön létre, ami bajok forrása.



A csillag-csillag kapcsolásában tételezzük fel az aszimmetria szélső, legrosszabb és legáttekinthetőbb esetét, amikor csak egy fázisban van terhelés. (A másik kettőben mindenki nyaral.)

Látható, hogy a B és C fázisokban csak a primer oldalon folyik áram. Így az üresjárási gerjesztés elhanyagolásával $N_1 \bar{I}_1 = -N_2 \bar{I}_2$ -ből nyerhető kifejezésben $N_2 \bar{I}_2 = 0$, így ezeken az oszlopokon $N_1(\bar{I}_1/2)$ kiegyenlítettlen gerjesztés jelenik meg.

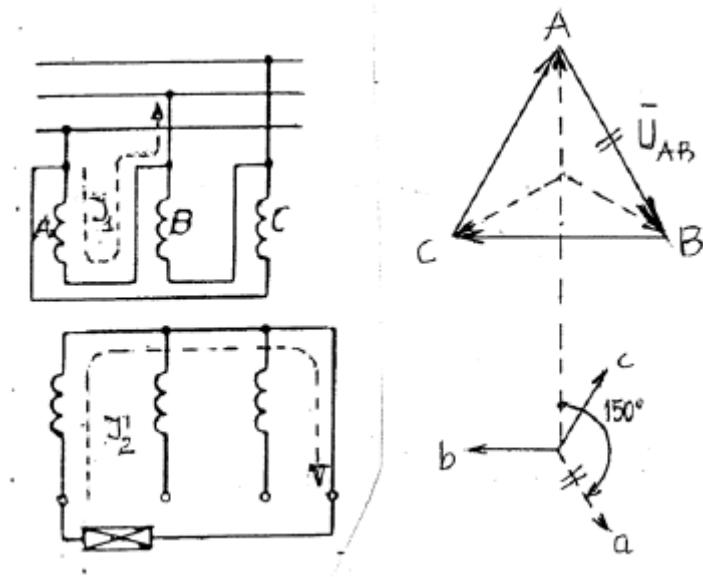
Kimutatható, hogy ilyen kiegyenlítettlen gerjesztés jelenik meg az A oszlopon is és mindhárom oszlop kiegyenlítettlen gerjesztése azonos fázisú. Az azonos fázisú gerjesztések három azonos irányú Φ_o fluxust (un. zérussorrendű fluxusokat) hoznak létre és azok három 90°-ra siető egyfázisú feszültséget indukálnak.

Ezeket az egyfázisú feszültségeket a transzformátor $\bar{U}_a, \bar{U}_b, \bar{U}_c$ szimmetrikus szekunder feszültség rendszeréhez hozzáadva (lásd ábra) teljesen aszimmetrikus $\bar{U}'_a, \bar{U}'_b, \bar{U}'_c$ kapocsfeszültség-rendszert nyerünk, ami a fogyasztók szempontjából megengedhetetlen (pl. megnövelt feszültségnél az égők kiégnek, a csökkentnél alig világítanak).

3. Háromfázisú transzformátorok kapcsolásai, órajel, kapcsolási csoport.

Háromszög-csillag kapcsolás

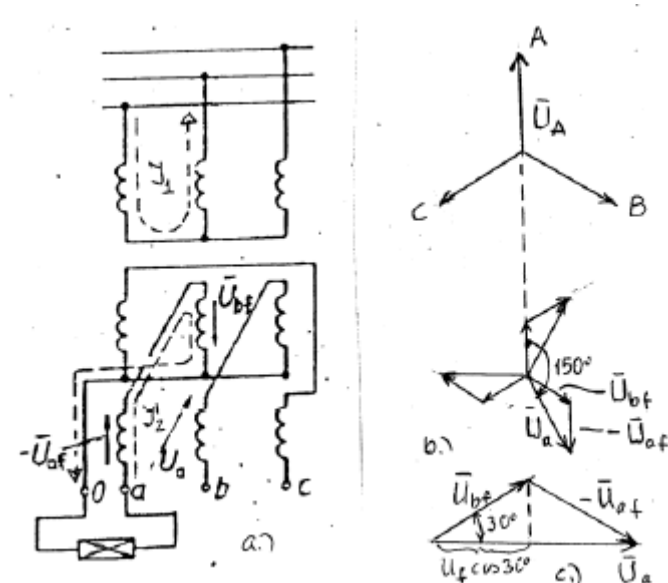
Az ábrán látható, hogy a primer fázisáram úgy folyik vissza a hálózatba, hogy másik fázistekercsen nem megy keresztül. Így **kiegyenlített oszlopgerjesztések nem keletkeznek**. A primer oldali delta kapcsolás tehát megoldotta a problémánkat. A primer háromszög kis teljesítmény és nagy primer feszültség esetén előnytelen, mert sokmenetű primer tekercset kell készíteni drága, vékony vezetőből. Készítése is drága. Ilyenkor pl. a szekunder oldali **zeg-zug kapcsolás** lehet a megoldás, bár a hálózati mérnökök, ha lehet, kerülnek.



Csillag-zeg-zug kapcsolás

Minden szekunder tekercset két féltekercsre osztunk és azokat az ábra szerint kapcsoljuk össze úgy, hogy eltérő oszlopokon elhelyezkedő féltekercsek képezzenek egy fázist. Az ábrán látható, hogy emiatt **mindkét oszlopon kiegyenlített gerjesztéseket találunk**.

A szekunder fázistekercsek kihasználását a féltekercsfeszültségek között 60 fokos fáziseltolás rontja, az eredő feszültségek és a részfeszültségek összegének (ez szabja meg a menetszámot) aránya ugyanis a c) - vízszintesen rajzolt - ábrából leolvashatóan:



$$\frac{U_a}{\sum U_{f\acute{e}l}} = \cos 30^\circ = \frac{\sqrt{3}}{2} = 0,86$$

A bemutatott kapcsolásoknál a primer és szekunder fázisfeszültségek között fázisszög eltérés van. A szimmetria viszonyokból kitűnik, hogy a fáziseltolás csak 30° többszöröse lehet, ezért az óraszám lappal jellemzik.

A szögnek megfelelő óra az ún. jelölőszám. Így egy kapcsolat jele a primer kapcsolat nagybetűjétől a szekunder kisbetűjéből és a jelölőszámból áll. A bemutatott kapcsolások sorrendjében ezek rendre: A kis o index a csillagpont kivezetést, a nulla (negyedik) vezetékét jelöli.

Y_{y0} , D_{y05} , Y_{z05}

A gyakorlatban elsősorban a 0 és 5 órajelű kapcsolásokat (részben a velük ellenfázisban levő 6 és 11-eseket) alkalmazzák.

Párhuzamosan csak olyan transzformátorokat lehet kapcsolni, amelyeknek a szekunder feszültségrendszere azonos nagyságú és fázishelyzetű fázisfeszültségekből áll.

F) Az elektromechanikai átalakítók mágneses tere (Forgó mozgás létesítése)

F1) Villamos gépek mágneses mezői

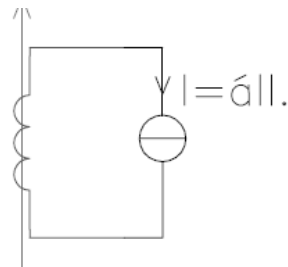
1. Állandó, lüktető és forgó mezők.

Állandó mező:

A tér adott pontjaiban a mágneses indukcióvektor(B) állandó.

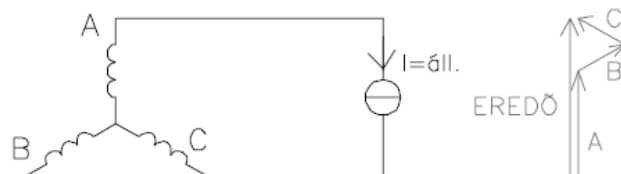
Előállítás: Egyenárammal gerjesztett tekercs(ek) segítségével.

a) Egy tekercs egyenárammal gerjesztve.



b) Több tekercs, térben háromfázisúan elhelyezve és egyenárammal gerjesztve.

$B_{eredő} = 1,5 \times B_A$,
ez is állandó

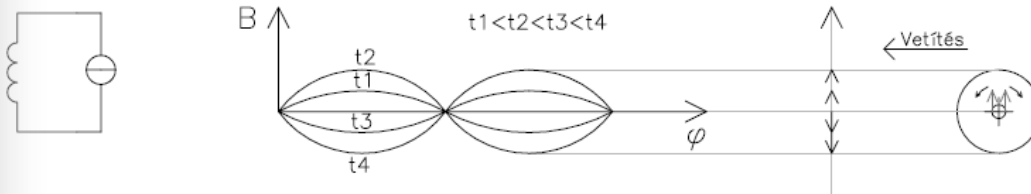


Lüktető mező:

Szinuszos térbeli állóhullám

Előállítása: Egy fázisú váltakozó árammal gerjesztett tekercssel.

Egy tekercs, egyfázisú váltakozóárammal gerjesztve.



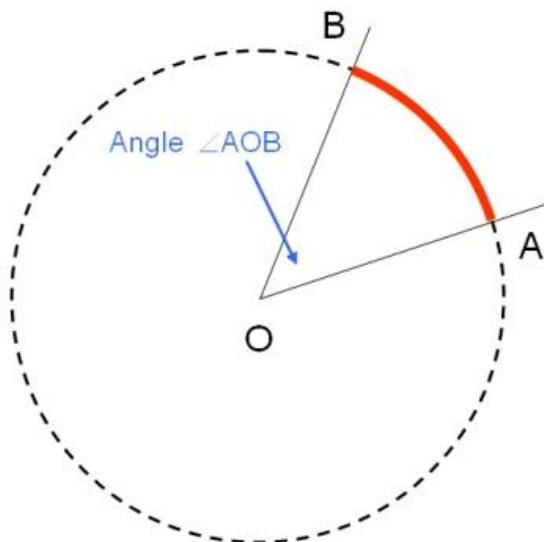
A lüktetőmező *térbeli állóhullám*, lineáris esetben összetehető két forgó mezőből.

FERRARIS TÉTELE: a lüktető mező felbontható két, egymással ellentétes irányban, azonos szögsebességgel forgó mezőre, amelyek amplitúdója (hossza) a lüktető mező amplitúdójának fele.

Forgó mező:

Az indukcióvektor iránya egy kitüntetett forgásirányban monoton változik.

Geometriai szög: A tekercsek által kifeszített körön két pont(A és B) által bezárt szög.



Póluspárszám(p): A forgórészen lévő (elektro- vagy állandó-)mágnesek száma.

Villamos szög: Egy póluspár által a körön kifeszített szög nagysága $2\pi/p$. Ha $p = 1$, akkor ez egy teljes fordulatot jelent. Nagyobb p értékekre

tulajdonképpen az történik, hogy a $p=1$ eset elrendezésében minden szöget elosztjuk p -vel, így pl a teljes körből egy félkör lesz $p=2$ -re. Egy póluspár teljes elfordulása esetén 2π az értéke:

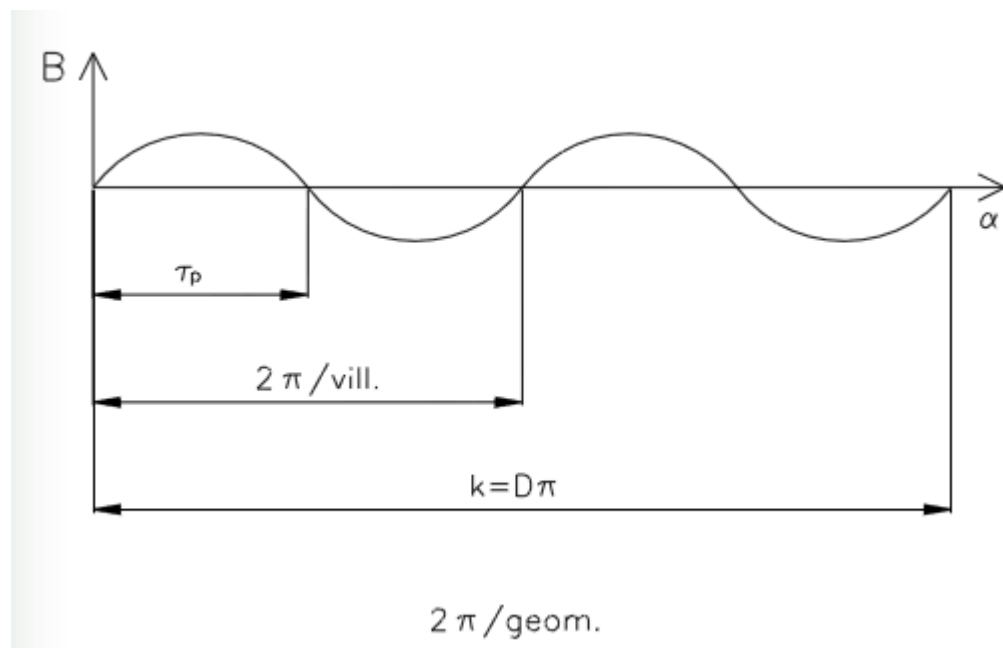
$$\alpha_v = p \cdot \alpha_g$$

Átmérő(D): A tekercsek által kifeszített kör átmérője.

Pólusosztás: Egy póluspárhoz tartozó ívhosszat ad meg:

$$\tau_p = \frac{D\pi}{2p}$$

Az alábbi ábrán egy 2 póluspárszámú rendszer van, kerülete mentén kiterítve:



2. Forgó mező létrehozása többfázisú tekercsrendszerrel.

Előállítás: térben $2\pi/m$ szöget bezáró, időben $2\pi/m$ -vel eltolt, váltakozó áramú tekercsekkel, ahol m a fázisszám.

<http://www.st.com/stonline/products/support/motor/tutorial/asynchr.swf>

3. A forgómező tulajdonságai.

A forgómező matematikai leírásából levezetve $\omega_0 = \omega_1/p$, ahol

ω_0 a szinkron fordulatszám(a mágneses mező szögsebessége)

ω_1 a hálózati körfrekvencia,

p a póluspárszám

ω_0 nem függ a fázisszámtól, amennyiben, ha m és n különböző fázisszámok,
 $B_n^*(n/2) = B_m^*(m/2)$

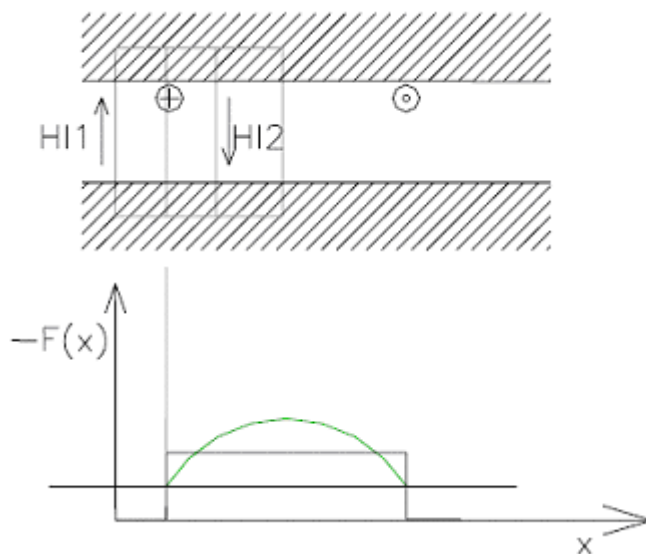
Az állandósult nyomatékképzés feltétele, hogy a két mágneses mező egymáshoz képest nyugalomban legyenek $\rightarrow \omega(0, \text{rot}) = \omega(0, st) \rightarrow p(\text{rot}) = p(st)$

4. Szinuszos mezőeloszlás létrehozása.

A gerjesztési törvény nyomán

$$\sum_i U_{mag,i} = \oint \mathbf{H} d\mathbf{l} = \sum_n H_n l_n = \sum_k I_k = \Theta(x)$$

Integrálási út kiválasztásakor a vasban vett utat elhanyagoljuk. Az így vett gerjesztés eloszlása egy lépcsős függvény lesz



A lépcsős függvény Fourier sora megadja a légrés indukció alapharmonikusát:

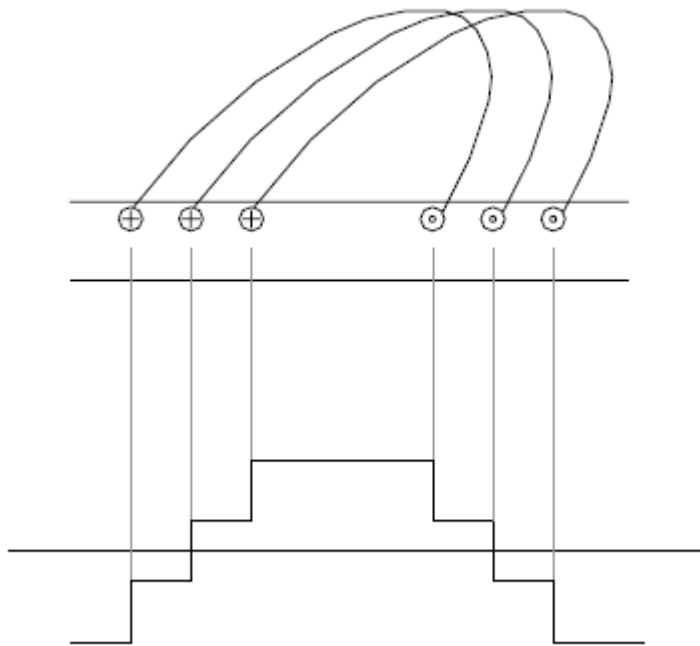
$$B_1 = \frac{4}{\pi} B_m$$

Legyen q a pólusonkénti horonyszám:

$$q = \frac{Z}{2pm}$$

, ahol Z az összhoronyszám

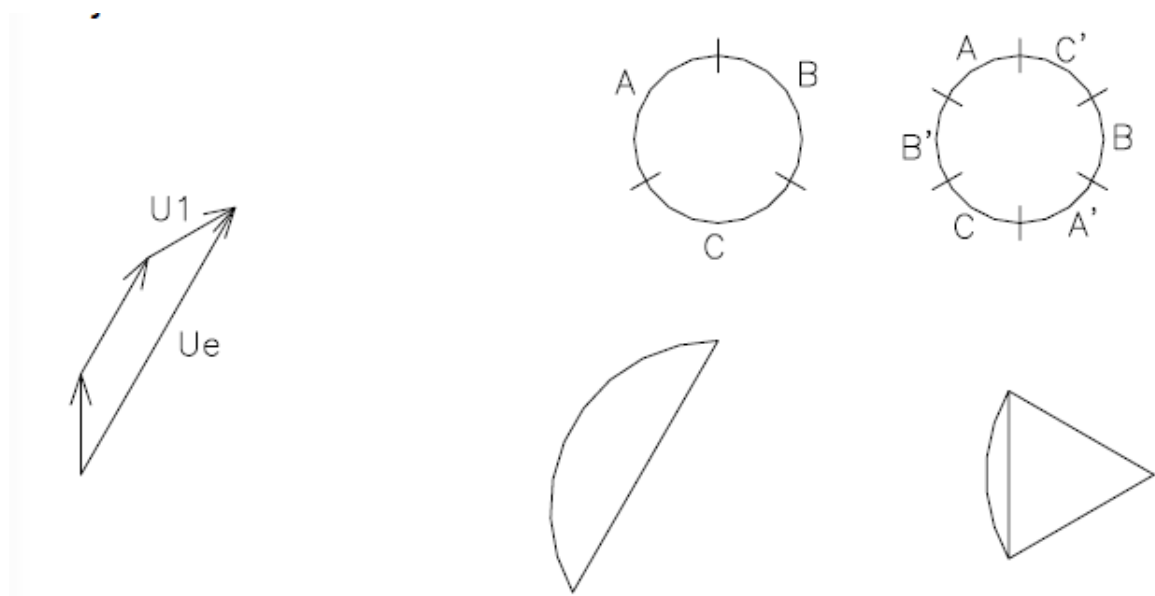
Ha $q > 1$, akkor



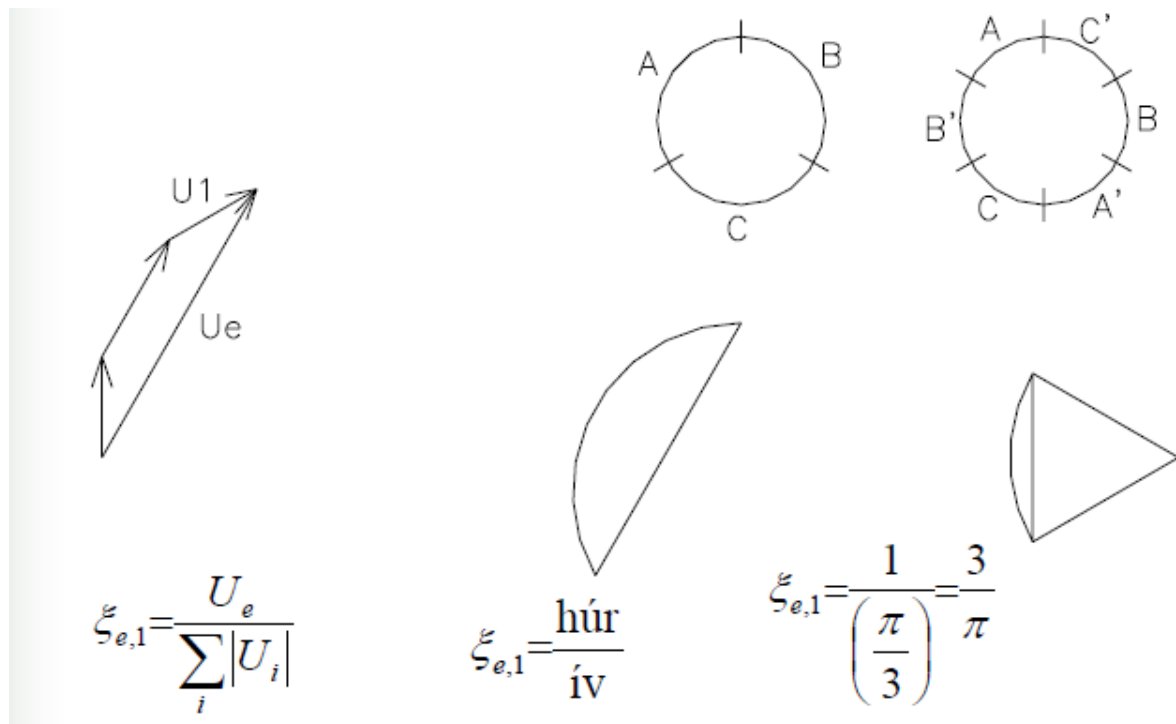
Előny: a mezőnek szinuszosabb térbeli eloszlása lesz

Hátrány: Az indukált feszültség kisebb lesz.

5. Indukált feszültség számítása. A tekercselési tényező.



A tekercselési tényező megmutatja, hogy a tekercselés elosztottsága következtében mennyire csökken az indukált feszültség:



kösz...:

$$N_1 = \frac{z_1}{2} \quad \begin{array}{l} N_1 = \text{menetszám/fázis} \\ z_1 = \text{összes sorbakötött} \\ \text{vezetőszám/fázis, } z_h = z_1/Z \end{array}$$

$$u_i(t) = b(x) l_i \cdot v \cdot z_1$$

$$U_{i,eff} = \frac{U_{i,max}}{\sqrt{2}} = \frac{1}{\sqrt{2}} B_{max} \cdot l_i \cdot v \cdot z_1$$

$$B_{köz} = \frac{2}{\pi} B_{max} \quad \text{szinuszos esetben!}$$

$$v = R \omega_0 = \frac{p \tau_p}{\pi} \cdot \omega_0 = \frac{\tau_p}{\pi} \omega_0 p = \frac{\tau_p}{\pi} \cdot \omega_1$$

$$U_{i,eff} = \frac{U_{i,max}}{\sqrt{2}} = \frac{1}{\sqrt{2}} \left(\frac{\pi}{2} B_{köz} \right) \cdot l_i \cdot \left(\frac{\tau_p}{\pi} \cdot 2\pi f_1 \right) (2N_1) = \frac{4\pi}{2\sqrt{2}} f_1 N_1 B_{köz} l_i \tau_p = 4,44 f_1 N_1 \Phi_{max}$$

$$\text{Ha } q \neq 1 \quad U_{i,eff} = 4,44 \cdot f_1 \cdot N_1 \cdot \xi_1 \cdot \Phi_{max}$$

F2) A frekvencia-feltétel és alkalmazása

1. A frekvencia-feltétel kifejezése és fizikai tartalma.

A nyomatékképzés feltételéből adódóan a forgórész és az állórész indukcióvektorának szögsebessége meg kell hogy egyezzen. Emiatt forgórész mágneses indukcióvektorának szögsebessége a forgórész koordinátarendszerében felírva, majd átranzformálva az állórész koordinátarendszerébe, meg kell, hogy egyezzen az állórész mágneses mezejének szögsebességével. Tehát:

$$\omega(B)|_{\text{rot}} + \omega(\text{mech})|_{\text{st}} = \omega(B)|_{\text{st}}$$

2. Gépfajták származtatása a frekvencia feltétel alapján:

a) szinkron gépek

szinkrongépek definíciója: $\omega(\text{mech})|_{\text{st}} = \omega(B)|_{\text{st}}$

emiatt $\omega(B)|_{\text{rot}} = 0$ szinkron esetben.

b) aszinkron gépek

rotoráramok körfrekvenciája:

$$\omega(B)|_{\text{rot}} = \omega(B)|_{\text{st}} - \omega(\text{mech})|_{\text{st}}$$

véges rotoellenállással állandó nyomaték képzésére képes, kivéve, ha $\omega(B)|_{\text{st}} - \omega(\text{mech})|_{\text{st}}$ szinkron fordulatszámon forog a tengely.

c) egyenáramú gépek

$$\omega(B)|_{\text{st}} = 0$$

ekkor $\omega(B)|_{\text{rot}} = -\omega(\text{mech})|_{\text{st}}$, amit kommutátorral oldanak meg.

Ha váltakozó árammal keféljük meg a forgórészt:

$$\omega(B)|_{\text{rot}} = \omega(\text{komm})|_{\text{st}} - \omega(\text{mech})|_{\text{st}}$$

G) Az alapvető elektromechanikai átalakítók működési elvei (Származtatása frekvencia-feltételből)

G1) Szinkron gépek

1. Háromfázisú szinkron gép felépítése és működési elve.

Állórész: háromfázisú tekercselés, mivel a vas igénybevétele nem tud nőni, ezért a kerületi áramokat kell növelni, ami hűtést igényel.

Forgórész: lehet hengeres és kiálló, mivel együtt forog az állórész mezejével, nem alakul ki benne indukált köráram, ezért a hengeres kialakítás lehet tömör.

Az állórészen váltakozó áramú tekercsek forgó mágneses mezőt hoznak létre, míg a forgórészen – a forgórészhez képest állandó mágneses mezőt hozunk létre, kisebb gépeknél állnadó mágnessel, nagyobb gépek esetén egyenáramú

gerjesztésre kapcsolt tekercsel. A működés ún. unilaterális, mert a forgórész mágneses mezeje gerjeszti az állórészt, de fordítva, mivel a forgórész az állórész fordulatszámán forog, nem jön létre gerjesztés. A relatív fordulateltérés alatt csak lengő nyomaték keletkezik, a gép közelítőleg rövidzárként viselkedik. Indulni magától nem tud szegény, ezért először fel kell pörgetni szinkron fordulatszámra.

2. Állandósult nyomaték kialakulásának feltétele. A szinkron fordulatszám.

Az állandósult nyomatékképzés feltétele, hogy a két mágneses mező egymáshoz képest nyugalomban legyenek $\rightarrow \omega(0, \text{rot}) = \omega(0, \text{st}) \rightarrow p(\text{rot}) = p(\text{st})$

A szinkron fordulatszám az állórész mágneses mezejének fordulatszáma.

H) Elektrotechnikai környezetvédelem

H3) Áramütés, érintésvédelem

11. Feszültség alatti munkavégzés.

Az üzemi feszültség alatt levő elektromos berendezéseket (főképp távvezetéseket) nem feszültségmentesítik, ezáltal a szolgáltatáskiesésből adódó veszteségek nem jelentkeznek.

Története:

Kezdetben kényszerből végeztek munkákat feszültség alatt.

Később már tervezetten folytak.

A fogyasztók is örültek, mert nem volt annyi zavar a szolgáltatásban

Meglepő módon kevesebb baleset következik be FAM közben, mint feszültségmentesített szerelésnél, mert

minden lélegzetvétel miniszterileg szabályozva van.

Csak képzett emberek végezhetik

A felhasznált eszközök nagyon megbízhatóak

<1000 KIF

1000 << 30000 KÖF

30000 < NAF

I) Elektrotechnikai alkalmazások és fejlődési trendek

II) Épületinformatika

5. Épületinformatikai rendszerek.

Automatikus vezérlések és szabályzások

Épületfelügyeleti buszrendszerek

Az épületinformatikai energiatakarékosság öt fő szintje:

- 1. az épület építészeti kialakítása.**
- 2. a fűtés, hűtés, szellőztéstechnika,**
- 3. az alternatív energiaforrások,**
- 4. a villamos teljesítmény felvételének a felügyelete,**
- 5. a fogyasztók programozott vezérlése.**

Irányítási rendszer:

Irányító rendszer:

- Mérőberendezések,
- Biztonsági berendezések,
- Vezérlő berendezések,
- Szabályozó berendezések.

Irányított rendszer:

- Villamosenergia ellátó rendszer,
- Épületgépészeti rendszer,
- Vagyon- és betörésvédelmi rendszer,
- Tűz-, gázvédelmi rendszer,
- Beléptető rendszer,
- Zártláncú kamerarendszer,
- Egyéb, technológiai rendszerek.

Irányító rendszer érzékelői:

- víz hőmérséklet, levegő hőmérséklet érzékelő,
- nedvességtartalom érzékelő,
- nyomás, nyomáskülönbség érzékelő,
- légsebesség érzékelő,
- légminőség érzékelő,
- jelenlét vagy mozgás érzékelő,
- nyitás érzékelő,
- üvegtörés érzékelő,
- tűz, füst érzékelő, stb...

Írányító rendszer beavatkozói:

- távműködtető relék,
- mágneskapcsolók, megszakítók,
- fényerőszabályozók,
- motoros szabályozó szelepek,
- folytonos szabályozású mágneses szelepek,
- lineáris illetve forgó motoros szalmozgatók,
- nyomás- és nyomáskülönbség kapcsolók,
- stb...

Írányítástechnikai jelek csoportosítása:

A) Energiahordozó fajtája alapján:

Villamos jel

Pneumatikus jel

Hidraulikus jel

Mechanikai jel

B) Információ reprezentációja:

Analóg

Digitális(kódolt)

C) Jel időbeli lefolyása:

Folytonos

Szaggatott

D) Jel időfüggvénye:

Analitikus(a jelfolyamra egy függvény illeszthető)

Sztochasztikus

Összekötések a hálózatban:

Összekötés szerint:

Fizikailag összekötött

Villamos jelvezeték

Optikai kábel

Fizikailag nem összekötött

Rádióhullám

Lézer

Infravörös átvitel

Összekötés jellege

Jelzővonal

Jelzólánc

6. Buszrendszerek.

BUS *Binary Unit System*

Digitális adattovábbítás(távírat) egyik állomástól(buszrésztvevőtől) a másikig egy közös átviteli médiumon.

Médiumok fajtái:

Sodrott réz érpár

Üvegszál

Erősáramú hálózat(PLC)

Rádióhullám

Épületfelügyeleti buszrendszerek típusai:

Központi intelligencia

Osztott intelligencia

Épületfelügyeleti buszrendszerek

Túlfeszültségek ?

Túlfeszültség-
védelem

Feszültségkimaradás ?

Meghibásodás ?

Szünetmentes
energiaellátás

Karbantartás

Terepi buszrendszerek típusai:

Hierarchikus rendszerek

Nyílt rendszerek

A felhasznált eszközök nagyon megbízhatóak

<1000 KIF

1000<<30000 KÖF

30000< NAF